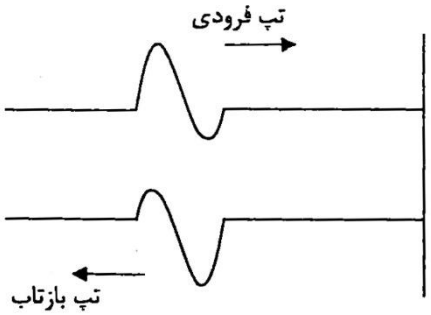
# برهم کنش های موج

وقتی در آینه خودمان را می‌بینیم یا صدای خودمان را پس از برخورد به کوه می شنویم، یکی از برهم کنش های موج با محیط، رخ می‌دهد که بازتاب نام دارد. انواع دیگر بر هم کنش های موج شکست، پراش و تداخل را بررسی می کنیم.

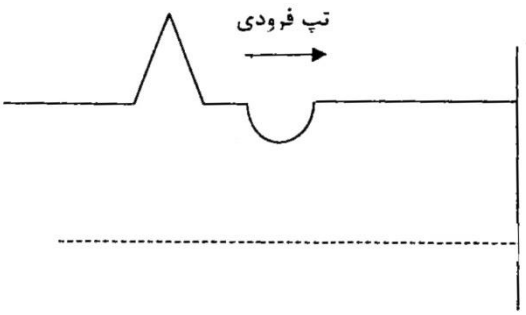
**۱) بازتاب موج:** به بازگشت امواج از یک سطح یا مانع بازتاب موج می گویند.

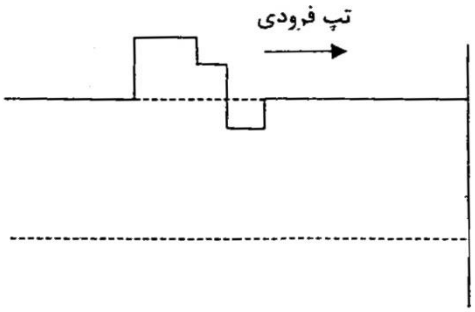
## بازتاب امواج مکانیکی:

**الف)** بازتاب در یک بعد: هر گاه تپی را در یک فنر یا ریسمان که یک سر آن به انتهای ثابت شده است روانه کنیم، طبق قانون سوم نیوتن تکیه گاه نیز نیرویی برابر و خلاف تپ فرودی بر طناب یا فنر ایجاد می‌کند و باعث می‌شود تپی در خلاف جهت قبلی به صورت زیر در طناب حرکت کند.



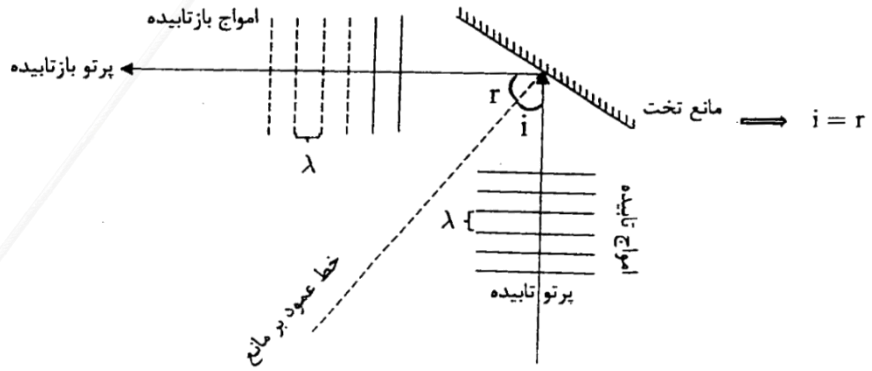

تمرین ۱: تپ بازتابی را در شکل های زیر رسم کنید.



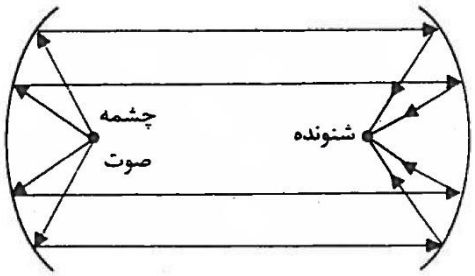




ب)

**بازتاب در دو بعد:** هر گاه با یک تیغه تخت، امواج تختی را تولید کنیم پس از برخورد به مانع تخت به صورت زیر بازتابیده می شوند. البته طول مانع باید بسیار بیشتر از طول موج فرودی باشد که پدیده پراش قابل ملاحظه نباشد.



به راحتی ثابت می شود که برای هر مانع دیگر به هر نوع موج دیگر مثل موج کروی و حتی موج سه‌بعدی (صوتی) زاویه تابش (i) با زاویه بازتابش (r) برابر است و به آن قانون بازتاب عمومی گویند. امواج صوتی نیز مانند سایر امواج از سطوح خمیده بازتابیده می شوند.




❖ نکته در مورد سطوح کروی:

اساس کار میکروفون سهموی که برای ثبت صداهای ضعیف و دستگاه لیتوتریپسی که برای شکستن سنگ کلیه با کمک بازتابنده های بیضوی استفاده می شود «بازتاب امواج» می باشد.

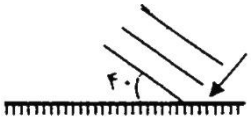
تست ۱: در تابش موجی به مانعی، اگر زاویه بین پرتو تابش و بازتابش، سه برابر زاویه‌ای باشد که پرتو بازتاب با سرعت آینه می‌سازد، زاویه تابش کدام است؟

۱) ۲۷ ۲) ۳۶ ۳) ۵۴ ۴) ۶۳

تست ۲: در برخورد موجی به یک مانع تخت، زاویه بین جبهه های موج فرودی و سطح مانع، نصف زاویه بین پرتو تابش این جبهه‌ها و سطح مانع می باشد، زاویه بازتاب چند درجه است؟

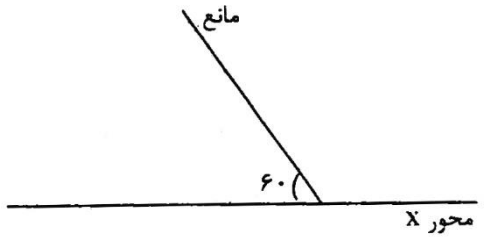
۱) ۱۵ ۲) ۳۰ ۳) ۶۰ ۴) ۷۵

تست ۳: در شکل روبرو جبهه‌های موج تختی به مانع برخورد می کنند. اگر زاویه بین جبهه ها و مانع $40^\circ$ باشد، جبهه‌های موج چند درجه منحرف می شوند؟

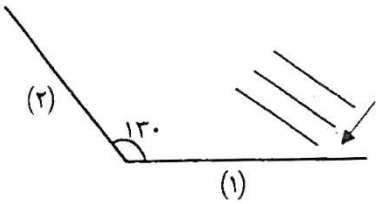



۱) ۴۰ ۲) ۸۰
۳) ۵۰ ۴) ۱۰۰

تمرین ۲: در شکل مقابل جبهه های موج تابش با محور x چه زاویه ای بسازد تا جبهه‌ای موج بازتابیده موازی محور x باشند؟



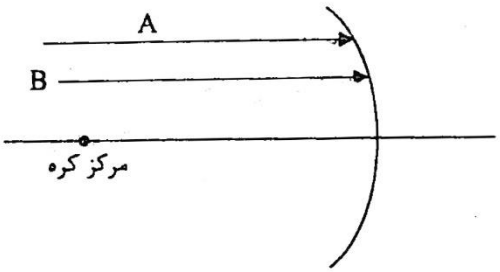

تمرین ۳: جهت انتشار جبهه های موج پس از بازتاب های متوالی از دو مانع (۱) و (۲) چند درجه تغییر می کند؟




❖ نکته:

تست ٤: در شکل مقابل دو پرتو A و B مربوط به جبهه‌های موج تختی می‌باشند که به طرف مانع گرد در حرکت است. زاویه تابش در پرتو A ..... پرتو B و زاویه بازتابش در A ..... B است؟

۱) برابر-برابر
۲) بیشتر از-بیشتر
۳) بیشتر از-کمتر از
۴) بیشتر از-برابر

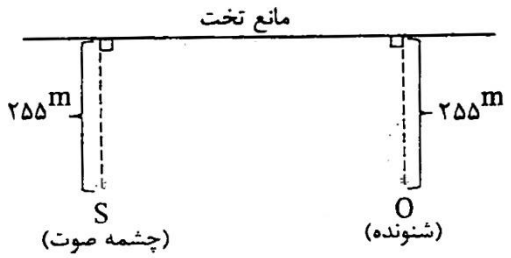



پژواک: اگر صوت با یک تاخیر زمانی به گوش شنونده برسد که صوت اولیه را مستقیماً می‌شنود، به چنین بازتابی پژواک گویند. برای تشخیص پژواک باید این تاخیر زمانی از ۰/۱ ثانیه بیشتر باشد.

تست ۵: کمترین فاصله شخص و دیوار چقدر باشد تا صدای پژواک توسط خود شخص تمیز داده شود؟(سرعت صوت $۳۴۰\frac{m}{s}$ است.)

۱) ۱/۷
۲) ۳/۴
۳) ۱۷
۴) ۳۴

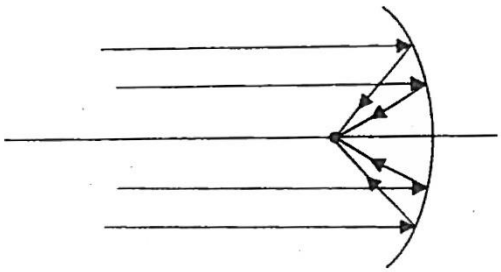
تمرین ۴: در شکل روبرو صدای چشمه صوت با اختلاف زمانی ۰/۵ ثانیه به گوش شنونده می رسد. فاصله شنونده از چشمه صوت چند متر است؟ صدای صوت در هوا $۳۴۰\frac{m}{s}$ است.)



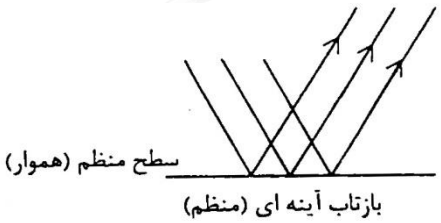

## بازتاب امواج الکترومغناطیسی:

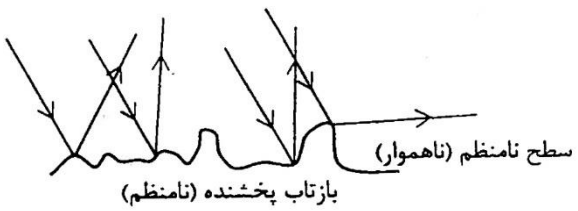
در این امواج هم قانون بازتاب عمومی صدق می‌کند یعنی؛ اولاً: $i = r$ و ثانیاً: پرتو تابش و بازتاب و خط عمود هرسه در یک صفحه‌اند.

به طور مثال (مطابق شکل) امواج تخت تابیده به یک سطح کاو پس از بازتاب از نقطه‌ای کانونی می‌شوند. از این ساز و کار در دریافت امواج رادیویی توسط آنتن های بشقابی و امواج فروسرخ برای گرم کردن استفاده می شود.



سطوح دو دسته منظم و نامنظم تقسیم بندی می شوند:

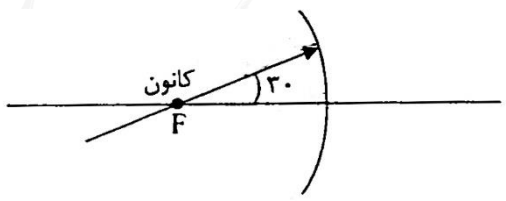



نکته ۱: علت دیده شدن اجسام بازتاب نامنظم است. (در همه جهات دیده می‌شوند)

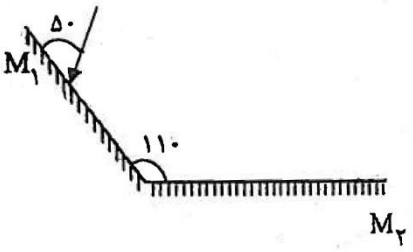
نکته ۲: اگر ناهمواری‌ها از طول موج تابیده شده بزرگ تر باشند، چنین سطحی ناهموار است. در غیر این صورت هموار محسوب می شود. (به طور مثال برای طول موج فرودی $\lambda = ۰/۵^{\mu m}$ سطوح با ناهمواری بسیار بیشتر از $۱\mu m$ ناهموار و کمتر از آن هموار محسوب می شوند.)

تست ۶: در شکل مقابل زاویه باز تابش و زاویه انحراف به ترتیب کدامند؟




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

تمرین ۵: در شکل مقابل بیابید:



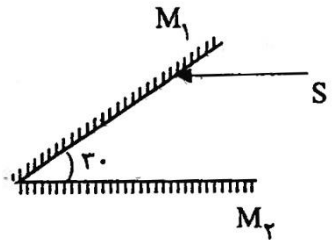

الف) زاویه بازتابش در $M_2$

ب) زاویه بین پرتو تابش و پرتو بازتابش در $M_2$

ج) زاویه بین پرتو تابش در $M_1$ و پرتو بازتابش در $M_2$

نکته:

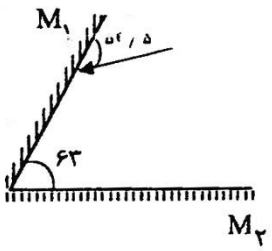
تست ۷: زاویه انحراف در شکل مقابل چند درجه است؟(SI موازی $M_2$ است.)




۱) ۶۰ ۲) ۱۲۰

۳) ۱۵۰ ۴) ۱۸۰

تست ۸: در شکل مقابل از زاویه تابش را ۲/۵° افزایش دهیم، زاویه انحراف پرتو SI پس از خروج از سطح دو آینه چند درجه تغییر می‌کند؟



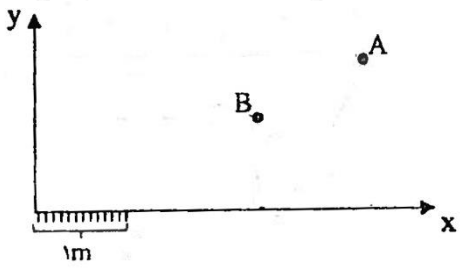

۱) ۵ ۲) ۲/۵

۳) ۱/۲۵ ۴) صفر

تست ۹: اگر زاویه بین پرتو تابش و سطح آینه ۲۴ درجه تغییر کند، زاویه بین پرتو تابش و بازتابش ۳ برابر می شود، زاویه بازتاب در حالت دوم چند درجه است؟

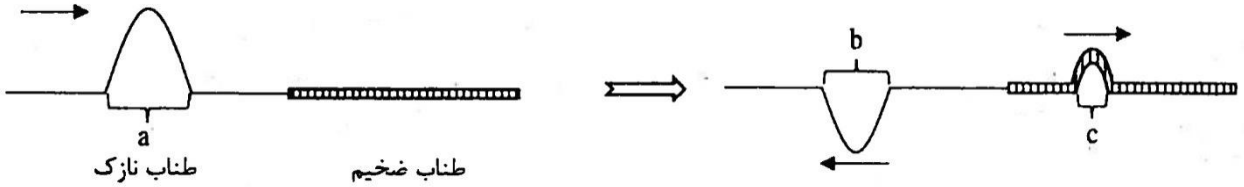
۱) ۱۲ ۲) ۲۴ ۳) ۳۶ ۴) ۷۲

تمرین ۶: در شکل مقابل آینه را حداقل چند متر روی محور x حرکت دهیم تا پرتوی که از A(۶,۴) به آینه می تابد از B(۳,۲) بگذرد؟



## ۲- شکست

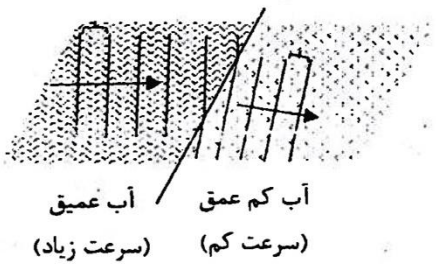
وقتی موج به مرز جدایی دو محیط می رسد، بخشی از آن جذب شده، بخشی بازتابیده شده بخشی عبور می‌کند.

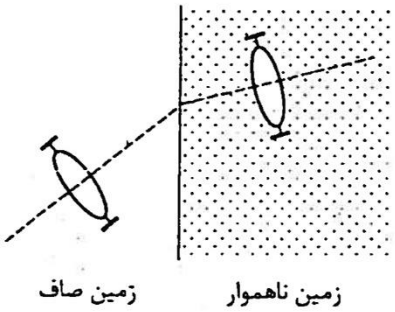



نکته در مورد اندازه های c , b , a:

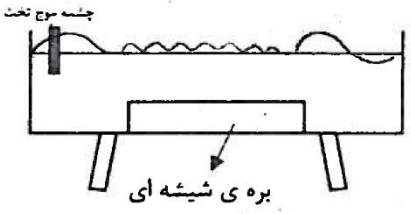
در انتشار دو بعدی و سه بعدی موج با عبور موج از یک محیط به محیط دیگر جهت انتشار هم عوض شده و به آن شکست گویند.

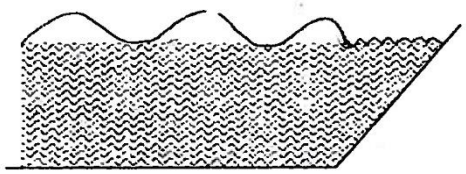
به طور مثال همانطور که می دانیم سرعت انتشار امواج عرضی در سطح آب به عمق آب بستگی دارد و هرچه عمق آب کمتر شود سرعت حرکت جبهه‌های موج هم کمتر می شود و در نتیجه قسمتی که زودتر به منطقه کم عمق می رسد زودتر سرعتش کم می‌شود.




تمرین ۷: در شکل های زیر نقش تقریبی موج را در نواحی مختلف یک ساحل شیبدار و همچنین در قسمتهای مختلف یک تشت موج رسم کنید.

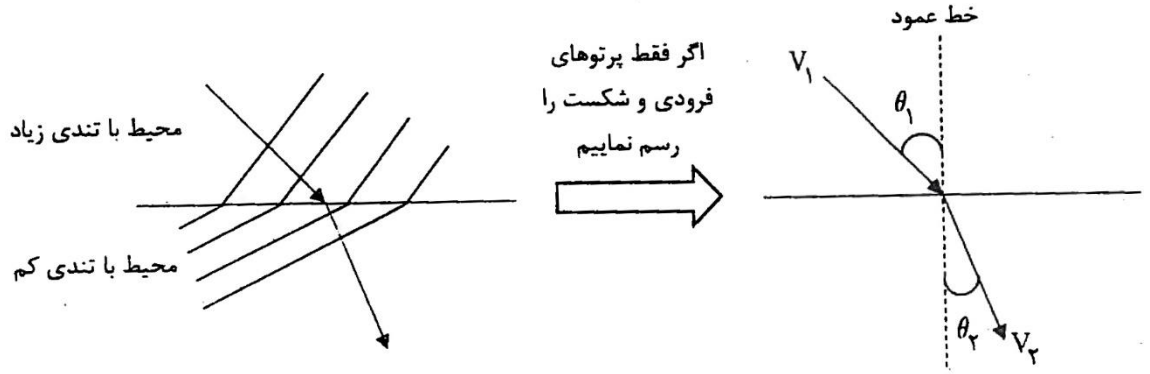


تست ۱۰: در یک تشت موج، تیغه‌ای با بسامد ۵ HZ، امواج تخت تولید می‌کند که فاصله دو برآمدگی متوالی آن ۱۰cm است و در ورود به بالای بره شیشه‌ای شکست پیدا می‌کنند. اگر سرعت امواج در ناحیه کم عمق ۰/۴ برابر ناحیه عمیق باشد، طول موج و بسامد امواج بالای بره شیشه ای کدام است؟

۱) ۴ و ۵ ۲) ۲۵ و ۵ ۳) ۴ و ۲ ۴) ۳۵ و ۲

## قانون شکست عمومی:




در شکل های فوق قانون عمومی شکست به صورت زیر بیان می گردد:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{V_1}{V_2}$$

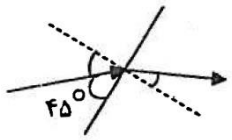
تست ۱۱: پرتو موجی با زاویه تابش ۵۳° به مرز دو محیط می‌تابد. اگر هنگام عبور تندی از ۲۵ درصد افزایش یابد، زاویه شکست موج چند درجه است؟($\sin 53^\circ = 0/8$)

۱) صفر ۲) ۳۷ ۳) ۵۳ ۴) ۹۰

نکته: با توجه به ثابت بودن فرکانس موجود در عبور از محیطی به محیط دیگر داریم:

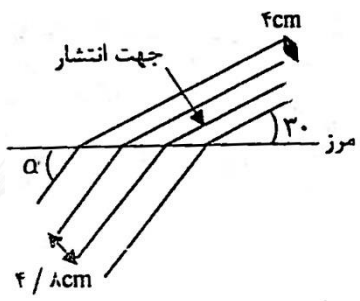
$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{V_1}{V_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

تست ۱۲: در شکل مقابل اگر در راستای پرتو موج و فرودی ۱۵° تغییر کرده باشد، طول موج در محیط اول چند برابر طول موج در محیط دوم است؟



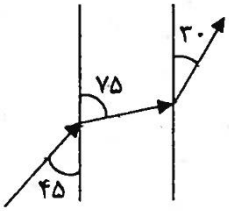

۱) $\sqrt{\frac{2}{3}}$ ۲) $\sqrt{\frac{3}{2}}$
۳) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ۴) $\sqrt{2}$

تست ۱۳: در شکل مقابل با توجه به شکل موج های تخت در دو محیط α چند درجه است؟




۱) ۳۷ ۲) ۴۵
۳) ۵۳ ۴) ۶۰

تست ۱۴: در شکل مقابل تندی انتشار در محیط (۱) برابر $۱۸\ \frac{m}{s}$ باشد، تندی انتشار در محیط (۳) برابر چند متر بر ثانیه است؟




۱) $۶\sqrt{۶}$
۲) $۹\sqrt{۶}$
۳) $۱۸\sqrt{۲}$
۴) $۱۸\sqrt{۳}$

نکته:

## شکست در امواج الکترومغناطیس

وقتی پرتو نوری از محیطی شفاف محیط شفاف دیگر می رود به دلیل تغییر سرعت شکسته می‌شود (البته بخشی از نور هم بازتابیده می‌شود). برای هر محیط شفاف کمیتی به نام ضریب شکست تعریف می‌کنند که برابر با نسبت تندی نور در خلأ به تندی نور در آن محیط است.

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

نکات:

۱) ضریب شکست توان بزرگتر یا مساوی یک است.($n_{\text{خلأ}} = ۱$)

۲) $n_{\text{گازها}} > ۱ > n_{\text{مایعات}} > n_{\text{جامدات}}$

۳) $n \propto \frac{۱}{V}$ در نتیجه $\frac{n_۱}{n_۲} = \frac{V_۱}{V_۲} = \frac{\lambda_۱}{\lambda_۲}$

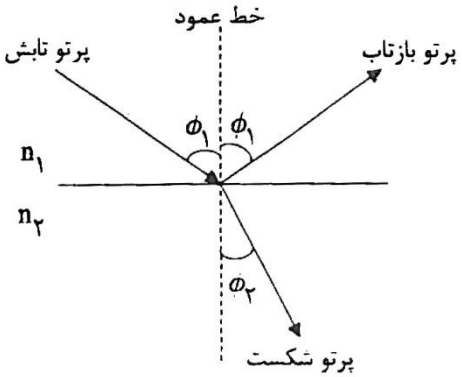
تمرین ۸: طول موج نوری در خلأ ۰/۶ میکرون می‌باشد، بسامد آن پرتو در مایعی با ضریب شکست $\frac{۴}{۳}$ چند هرتز است؟

$(c = ۳ \times ۱۰^۸\ \frac{m}{s})$

تست ۱۵: اختلاف طول موج نوری در دو محیط با ضریب شکست های $n = ۲$ و $n = ۳$ برابر $۸۰\text{nm}$ است. طول موج این پرتو در خلأ چند نانومتر است؟

۱) ۴۰۰
۲) ۴۲۰
۳) ۴۸۰
۴) ۵۲۰

قانون شکست اسنل:




$$n_1 \sin\phi_1 = n_2 \sin\phi_2$$

نکته:

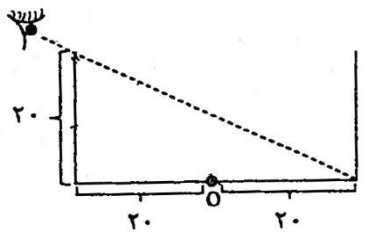
تمرین ۹: پرتوی با زاویه تابش ۶۰° از محیطی با $n_1 = \sqrt{3}$ وارد محیطی با ضریب شکست $n_2$ می‌گردد. اگر زاویه شکست در محیط دوم ۳۰° باشد، چند $n_2$ است؟

تست ۱۶: پرتو با زاویه تابش i از هوا به محیطی با ضریب شکست $\sqrt{2}$ می‌تابد. اگر پرتو شکست نسبت به پرتاب ورودی ۱۵° منحرف شده باشد، i کدام است؟

۱) ۳۰ ۲) ۴۵ ۳) ۵۳ ۴) ۶۰

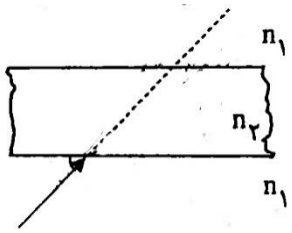
تمرین ۱۰: از مایعی با $n = \sqrt{3}$ دسته پرتوی به سطح جدایی با هوا می تابد و بخش شکسته شده و خارج شده و بخشی بازتابیده می شوند. اگر پرتوهای بازتاب و شکست بر هم عمود باشند، زاویه تابش در مایع چند است؟

تمرین ۱۱: در شکل مقابل اگر ضعف را به طور کامل از مایع با ضریب شکست n پرکنیم ناظر نقطه o را نیز می بیند. حداقل n چند است؟



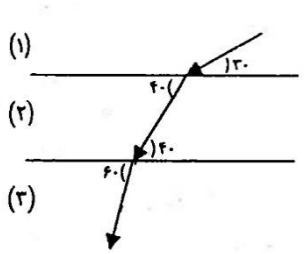
## تیغه متوازی السطوح:

- ✓ اگر محیط اول و آخر تیغه یکسان باشد طرف ورودی و خروجی موازی می باشند.
- ✓ برای محاسبه زاویه پرتو خروجی تیغه فقط محیط اول و آخر مهم است.
- ✓ با توجه به اینکه تیغه از محیط خارج خودش غلیظ‌تر یا رقیق‌تر است، مسیر عبور پرتو به صورت‌های مختلفی در تیغه رسم می شود.

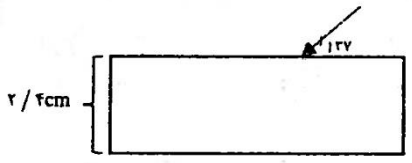



**تست ۱۷:** در شکل مقابل اگر ضریب شکست محیط (۱) برابر $\sqrt{۳}$ باشد، ضریب شکست محیط (۳) کدام است؟

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

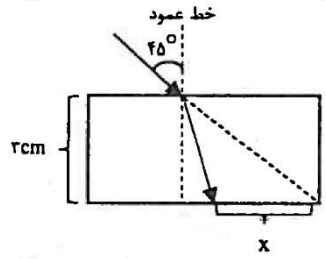



**تمرین ۱۲:** در شکل مقابل اگر ضخامت تیغه سانتیمتر ۲/۴ باشد و ضریب شکست آن $\frac{۴}{۳}$ باشد، مسافتی که این پرتو داخل تیغه طی می‌کند چند سانتی متر است؟



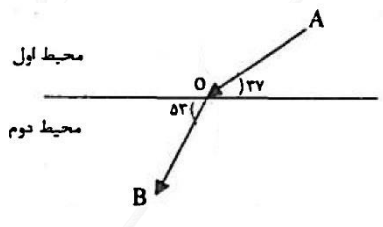

**تست ۱۸:** در شکل مقابل x کدام است؟

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

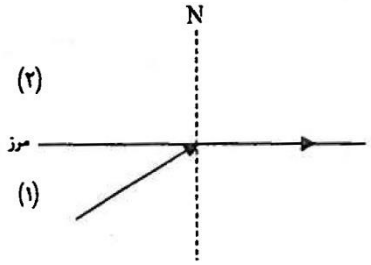



**تست ۱۹:** در شکل مقابل اگر $Ao = oB$ بوده باشد و بدانیم نور oA را در مدت t ثانیه طی می‌کند، زمان حرکت نور در مسیر oB چند t است؟

۱) $\frac{۳}{۴}$
۲) $\frac{۴}{۳}$
۳) ۱
۴) $\frac{۱۶}{۹}$



تست ۲۰: در شکل مقابل پرتو ۳۰ درجه منحرف شده است، سرعت نور در محیط (۲) چند برابر (۱) است؟

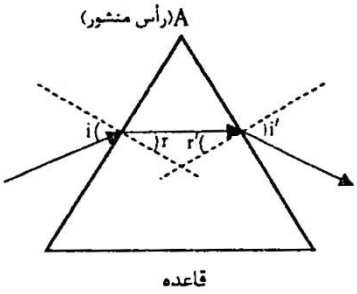



۱) $\frac{۱}{۲}$
۲) $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$
۳) ۲
۴) $\frac{۲\sqrt{۳}}{۳}$

❖ زاویه حد:

## منشور

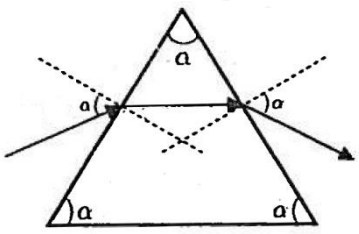
غذای شفافی که بین دو سطح متقاطع می باشد.




در منشور، اگر فضای منشور غلیظ‌تر از بیرون خودش باشد (ضریب شکست آن بیشتر از اطراف باشد)، پرتو نهایی به طرف قاعده منحرف می شود.

روابط منشور:

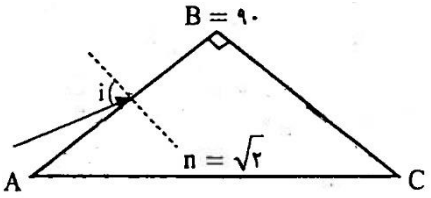
تمرین ۱۳: در شکل مقابل اگر همه زاویه های α برابر باشند، ضریب شکست منشور چند است؟



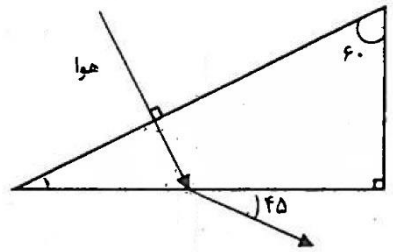
تست ۲۱: در منشور مقابل i چند درجه باشد تا پرتاب نهایی مماس بر وجه BC خارج شود؟

۱) ۳۰ ۲) ۴۵

۳) ۶۰ ۴) ۹۰

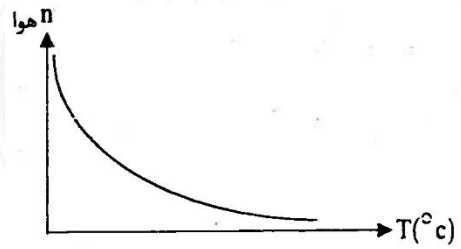


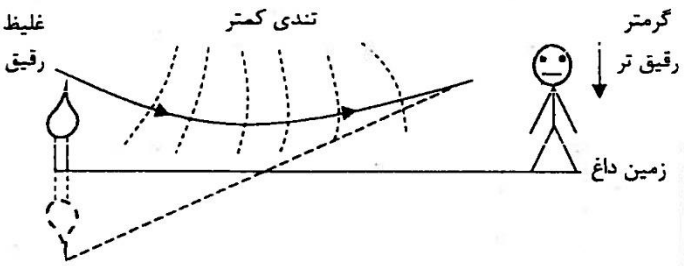

تمرین ۱۴: در شکل مقابل n کدام است؟




## سراب (سراب آبگیر)

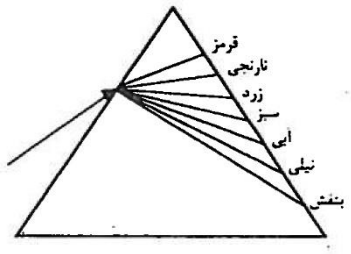
در روزهای گرم هوای نزدیک زمین نسبتاً داغ و چگالی آن کم و با ضریب شکست کم نسبت به لایه های فوقانی محیط رقیق محسوب می شود.



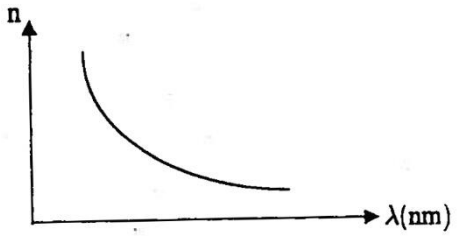
## پاشندگی نور

می دانیم نور سفید آمیزه‌ای از رنگ‌های مختلف بوده و ضریب شکست همه محیط‌ها به غیر از خلأ به طور موج پرتو تابیده شده به آن بستگی دارد. یعنی وقتی نور سفید به منشور و شیشه‌ای بتابد این پرتوها به دلیل داشتن طول موجهای مختلف در زاویه های مختلف شکسته می‌شوند که به آن پاشندگی نور گویند.




این پاشندگی پس از خروج از منشور محسوس‌تر می‌شود.

- ✓ عموماً ضریب شکست یک محیط برای طول موج های کوتاه تر بیشتر است. به طور مثال برای یک شیشه معمولی نمودار ضریب شکست بر حسب طول موج به صورت روبرو است.

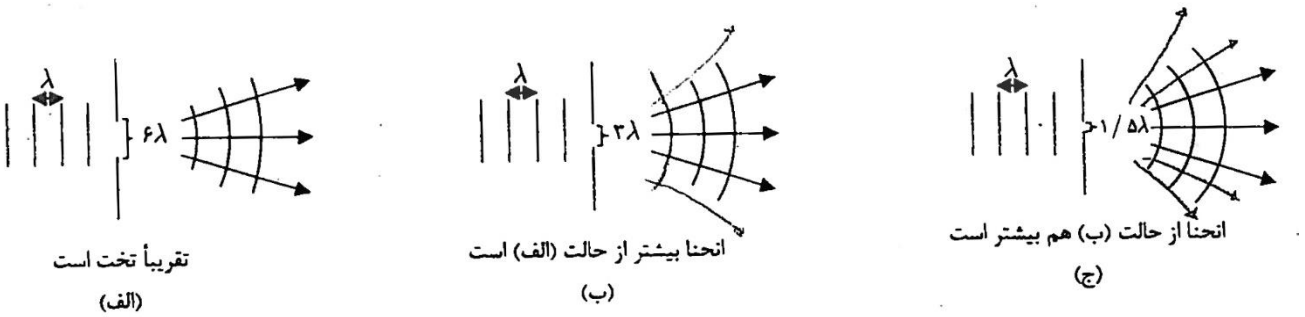



تست ۲۲: اگر دو پرتو قرمز و سبز با زوایای یکسان از خلأ به مایعی بتابند، زاویه شکست پرتو..... بیشتر است و اگر دو لامپ سبز و قرمز در کف استخر باشند، لامپ..... بالاتر دیده می‌شود.

۱) قرمز-قرمز ۲) سبز-سبز ۳) قرمز-سبز ۴)سبز-قرمز

## ۳- پراش

دیدیم اگر در مسیر حرکت موج مانعی باشد، بخشی از موج بازتاب و بخشی جذب می شود. بخشی دیگر از موج از لبه های مانع عبور می کند. در صورتی که ابعاد مانع یا شکاف در حدود طول موج باشد، بخشی از موج که از لبه‌ها عبور می‌کند به اطراف مانع و فضای پشت مانع متمایل می‌شود.




تقریباً تخت است (الف)

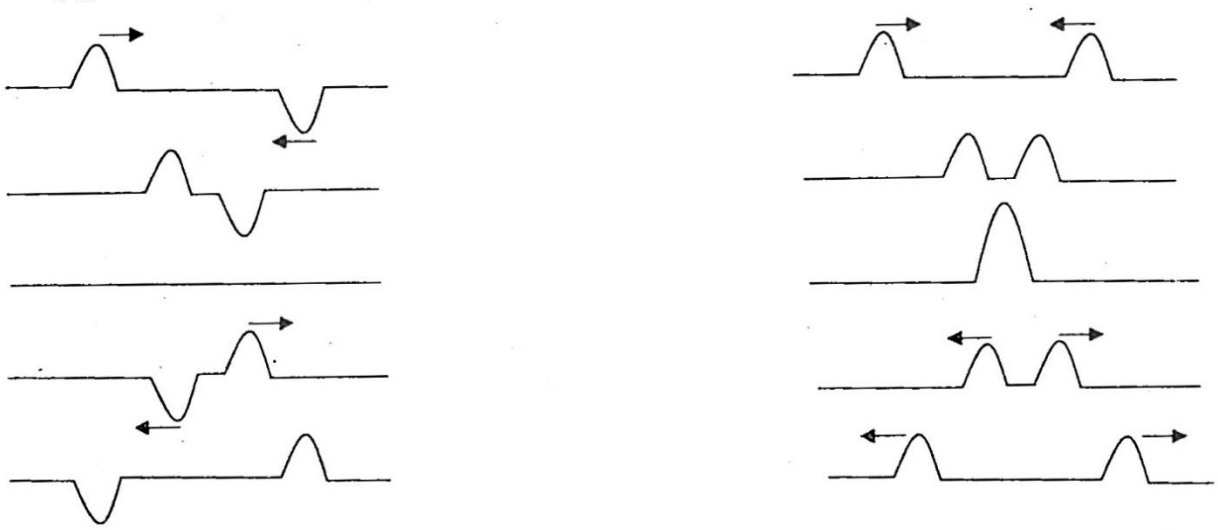
انحنا بیشتر از حالت (الف) است (ب)

انحنا از حالت (ب) هم بیشتر است (ج)

❖ نکته: هر چه طول موج پرتوهای فرودی بیشتر باشد، احتمال پراشیدگی بیشتر است (البته برای یک مانع معین با ابعاد مشخص). به طور مثال امروزه که طول موج سیگنال های تلویزیون دیجیتالی بسیار کمتر شده است پراش سیگنال ها به داخل ناحیه سایه کاهش پیدا کرده است.

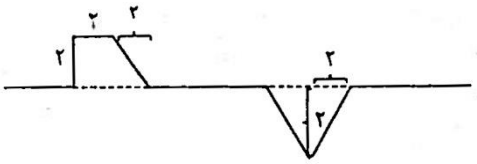
## ٤- تداخل امواج

هرگاه دو موج غیر همزه در نقطه به هم برسند، مکان آن نقطه در هر لحظه برابر با مجموع امواج رسیده به آن نقطه است.

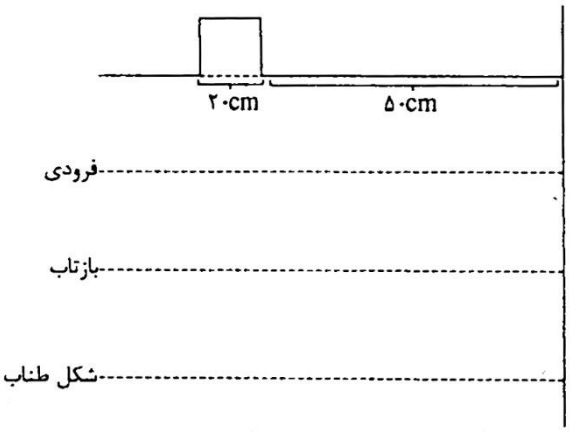


به ترکیب موج ها با همدیگر تداخل گویند. موج ها پس از تداخل بدون تغییر از هم می‌گذرند. اگر موج ها در هنگام عبور از تپ بزرگتری ایجاد کنند، تداخل را سازنده و اگر اثر همدیگر را در لحظه همپوشانی حذف کنند، تداخل را ویرانگر گویند.

تمرین ۱۵: در لحظه همپوشانی دو موج مقابل، شکل طناب به چه صورت است؟

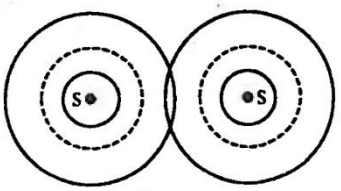



تمرین ۱۶: تپ مقابل با سرعت $۲۰\frac{m}{s}$ در حال حرکت است. در لحظه t = ۳ ریسمان به چه شکل می‌باشد؟

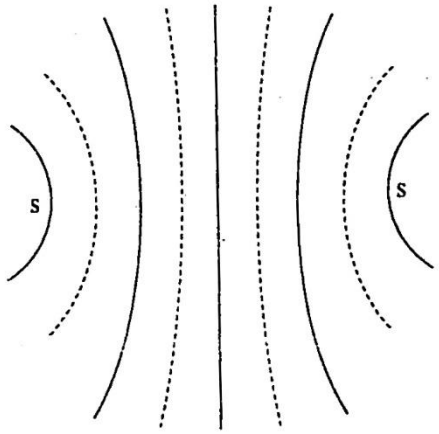



## برهم نهی در دو بعد و سه بعد

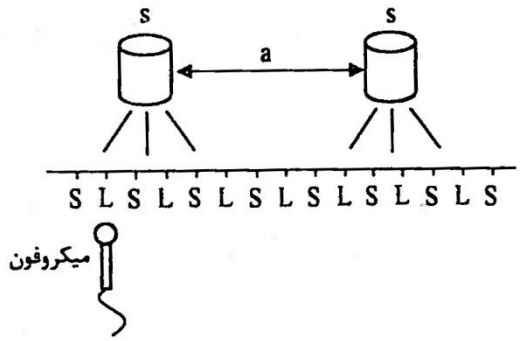
یکی از نمونه‌های برهم نهی در دو بعد، تداخل امواج سطحی آب می باشد. در نقاطی که برآمدگی به هم برخورد کرده در آنجا تداخل سازنده داریم و این نقاط با بیشترین دامنه نوسان می کند و در نقاطی همواره یک برآمدگی و یک فرورفتگی به هم رسیده و تداخل در این نقاط ویرانگر است و نوسان چندانی نداریم.



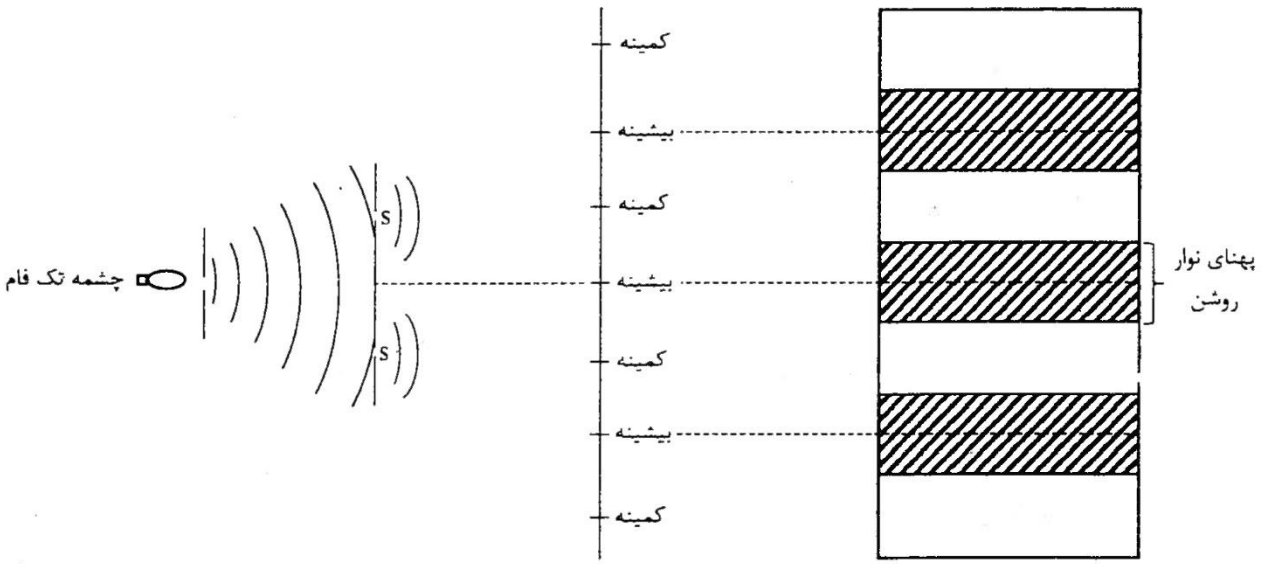
در شکل زیر خطوط پررنگ بیشترین دامنه و خط چین ها معرف نقاطی می باشند که نوسان نمی کنند:




یکی دیگر از نمونه های تداخل در سه بعد تداخل امواج صوتی است. به صورتی که دو منبع به صورت دو بلندگو می باشند در شکل مقابل اگر میکروفون را روی خط مقابل حرکت دهیم به تناوب به نقاطی با بیشترین صدا (L) و نقاطی با کمترین صدا (S) می رسیم.



## تداخل امواج نوری (آزمایش یانگ):




نکات:

۱) علت انحنای نور های خروجی از سوراخ ها پراش می باشد.

۲) نوارهای روشن (فریزهای روشن) حاصل تداخل سازنده و نوارها (فریزها)ی تاریک حاصل تداخل ویرانگر است.

۳) پهنای نوارهای روشن و تاریک برابر بوده و متناسب با طول موج نور تکفام مورد استفاده است.

۴) نقش نوارهای روشن و تاریک بر پرده نقش تداخلی نام دارد.

تمرین ۱۷: نحوه رسیدن موج ها از دو سوراخ را به نوارهای روشن و تاریک در دو شکل مجزا نشان دهید.

تست ۲۳: اگر آزمایش یانگ را در همان محیط انجام داده و به جای نور سبز از قرمز استفاده کنیم پهنای نوارها..... و اگر به جای سبز از آبی استفاده کنیم پهنای نوارها..... می‌شود.

۱) افزایش-کاهش ۲)افزایش-افزایش ۳) کاهش-کاهش ۴) کاهش-افزایش

تست ۲۴: اگر آزمایش تداخل امواج صوتی را با همان اندازه ها در آب تکرار کنیم، به دلیل ..... سرعت فاصله نقاط S و L از هم ..... می یابد.

۱) افزایش-افزایش ۲) کاهش-کاهش ۳) افزایش-کاهش ۴) کاهش-افزایش

تست ۲۵: اگر در آزمایش یانگ فرکانس نور مورد آزمایش را $\frac{۵}{۴}$ برابر کنیم، پهنای نوار ها..... درصد ..... می‌یابد.

۱) ۲۵-افزایش ۲) ۲۵-کاهش ۳) ۲۰-کاهش ۴) ۲۰-افزایش

تست ۲۶: پهنای هر نوار روشن در آزمایش یانگ ۰/۶mm است. اگر این آزمایش را به محیطی ببریم که سرعت نور در آن $۲ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}$ باشد پهنای نوار های تاریک چند میلیمتر می گردد؟

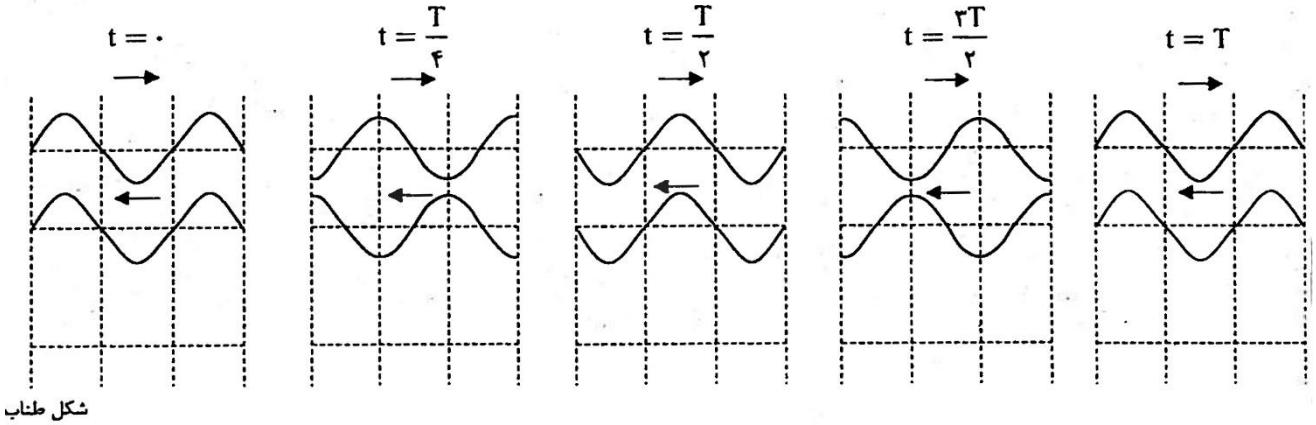
۱) ۰/۴ ۲) ۰/۸ ۳) ۰/۹ ۴) ۱/۸

تست ۲۷: آزمایش یانگ را با فرکانس $۷/۵ \times ۱۰^{۱۴} HZ$ انجام داده‌ایم. این آزمایش را با چه فرکانسی انجام دهیم تا فاصله یک نوار روشن از چهارمین نوار روشن بعد از خودش در آزمایش دوم برابر با فاصله یک نوار روشن تا پنجم این نوار تاریک بعد از خودش در آزمایش اول باشد؟

۱) $\frac{۲}{۳} \times ۱۰^{۱۵} HZ$ ۲) $۱/۵ \times ۱۰^{۱۵} HZ$ ۳) $\frac{۲}{۳} \times ۱۰^{۱۴} HZ$ ۴) $۱/۵ \times ۱۰^{۱۴} HZ$

## موج ایستاده و تشدید در ریسمان کشیده

اگر در یک طناب بسیار بلند موجی ارز ایجاد کنیم، و در لحظات مختلف اثر تداخل امواج فرودی و بازتاب را در این طناب بررسی نماییم، نقش موج (شکل طناب) در لحظات مختلف به صورت زیر می گردد:



شکل طناب

با کمی دقت در شکل های بالا در می یابیم که:

۱) نقاطی در طناب موسوم به گره وجود دارند که در تمامی لحظات ساکن می باشند.

۲) برخلاف امواج رونده، دامنه نقاط یکسان می‌باشد.

۳) دقیقا وسط هر دو گره نقطه‌ای است به نام شکم، که با بیشترین دامنه نوسان می کند.

۴) چون نقش موج در این حالت به چپ و راست نمی رود، موج را ایستاده گوییم.

۵) محل گره و شکم ها روی یک تار در زمان های مختلف ثابت است.

۶) شکم ها همواره دامنه بیشتری دارند، نه مکان بیشینه (یعنی شکم ها در لحظاتی در مکان صفر هم می باشند)

۷) $\omega, T, f$ همه نقاط یکسان می باشد غیر از گره ها که اصلاً نوسان ندارند.

نکته ۱:

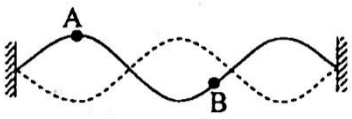
$$\text{فاصله دو شکم مجاور} = \text{فاصله دو گره مجاور} = \frac{\lambda}{۲}$$

$$\text{فاصله یک گره از شکم مجاور} = \frac{\lambda}{۴}$$

نکته ۲: گره ها در جای تشکیل می شوند که در تمامی لحظات موجهای ناهم‌فاز یا در فاز مخالف در آنجا حضور دارند (تداخل ویرانگر) و شکم‌ها در جایی تشکیل می‌شوند که در تمامی لحظات موج‌های فرودی و بازتاب هم‌فاز می باشند و همدیگر را تقویت می کنند (تداخل سازنده)

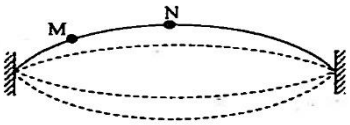
نکته ۳: در یک تاری که دو سر آن بسته می باشد، چون دو انتهای طناب ثابت است، در انتهاهای طناب گره داریم.

تست ۲۸: در لحظه نشان داده شده در موج ایستاده مقابل سرعت نقطه A نسبت به B ..... و شتاب نقطه A نسبت به B .....است.




۱) برابر-بیشتر
۲) برابر-برابر
۳) بیشتر-بیشتر
۴) بیشتر-برابر

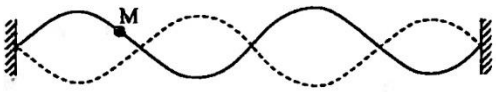
تست ۲۹: در شکل مقابل که مربوط به موج ایستاده می باشد، چند کمیت از کمیت های نامبرده برای نقاط M و N در حین نوسان متفاوت است؟




الف) فرکانس ب) سرعت لحظه ای ج) شتاب لحظه‌ای د) مکان در هر لحظه ه) دامنه و) سرعت بیشینه

۱) ۲ ۲) ۳ ۳) ۴ ۴) ۵

تست ۳۰: در شکل مقابل که مربوط به موج ایستاده در طناب می باشد، چند نقطه می توان یافت که دامنه آن را با دامنه نوسان و نقطه M برابر است؟

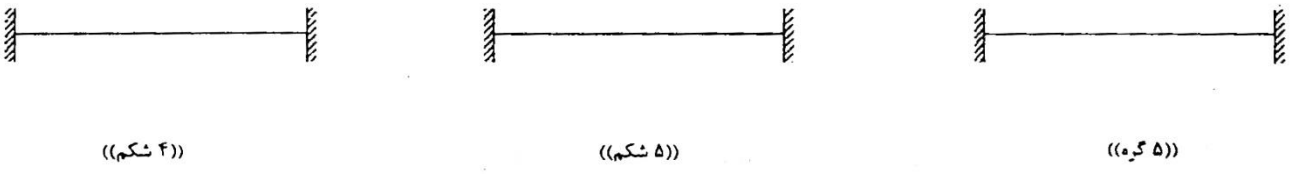



۱) صفر ۲) ۱ ۳) ۳ ۴) ۷

تست ۳۱: موج سینوسی با دامنه ۵cm و طول موج ۸cm در طناب کشیده‌ای با انتهای ثابت در حرکت به طرف انتهای بسته است. پس از تشکیل موج ایستاده نقطه‌ای که در ۶ cm انتهای بسته است با چه دامنه ای نوسان می کند؟

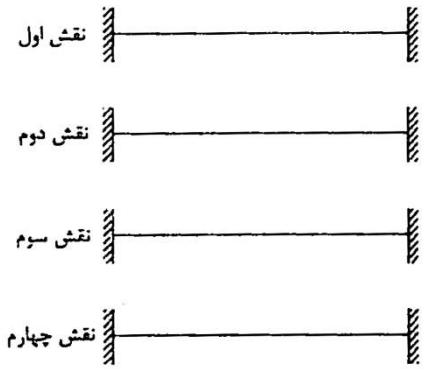
۱) ۲ ۲) ۴ ۳) ۸ ۴) این نقطه نوسان نمی‌کند

تمرین ۱۸: در طناب های زیر که طول همگی L می باشد امواج ایستاده ای با توجه به تعداد گره ها و شکم های خواسته شده رسم کنید:




با کمی دقت در میابیم که در حالات مختلف یک تار با طول معین می‌توان امواج ایستاده ای با طول موجهای متفاوت رسم نمود که قطعاً دارای فرکانس های متفاوت نیز می باشند.

رسم حالات مختلف تار صوتی:




نکات:

۱) تمام مضارب صحیح فرکانس اصلی اجرا می شود.

۲) حاصل تقسیم دو فرکانس در دو **مد** متوالی (هماهنگ متوالی) دو عدد طبیعی متوالی است.

۳) تفاوت بسامد در دو **مد** متوالی (هماهنگ متوالی) برابر با فرکانس اصلی می باشد.

تست ۳۲: بسامد اصلی تاری ۲۵۰ هرتز است. بسامد صوت حاصل از این تار در حالتی که ۵ گره دارد چند هرتز است؟

۱) ۲۵۰۰ ۲) ۱۰۰۰ ۳) ۵۰۰ ۴) ۲۵۰

تست ۳۳: بسامد اصلی تاری ۶۰ هرتز است. اگر نیروی کشش تار را ۲۵ برابر کنیم، در حالتی که در این تار ۴ گره تشکیل شده باشد، فرکانس چند هرتز است؟

۱) ۳۰۰ ۲) ۹۰۰ ۳) ۱۲۰۰ ۴) ۱۵۰۰

تست ۳۴: نیروی کشش تاری ۲۲/۵N و جرم واحد طول $۴ \times ۱۰^{-۳} \frac{Kg}{m}$ است. اگر بسامد صوت اصلی در این تار ۱۵۰ هرتز باشد، طول این تار چند سانتی متر است؟

۱) ۲۵ ۲) ۳۰ ۳) ۵۰ ۴) ۶۰

تست ۳۵: اگر نیروی کشش تاری را ۹ برابر کنیم، بسامد صوت اصلی آن ..... برابر و طول موج در نقش اول این تار ..... برابر می‌گردد.

۱) ۱ و ۳ ۲) ۳ و ۱ ۳) ۳ و ۳ ۴) ۱ و ۱

تمرین ۱۹: بسامد دو هماهنگ متوالی تاری ۲۲۵ و ۳۰۰ هرتز است، بسامد هماهنگ هفتم این تار چند هرتز است؟

تمرین ۲۰: در تاری فاصله یک گره از سومین شکم بعد از خودش ۴۵cm است. اگر سرعت انتشار موج $۱۸۰ \frac{m}{s}$ باشد:

اولاً: فرکانس در این حالت چند هرتز است؟

ثانیاً: اگر در این حالت ۲۶ گره وجود داشته باشد، فرکانس اصلی چند هرتز است؟

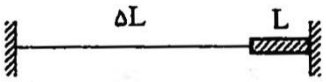
تست ۳۶: در تاری اگر به بسامد منبع ۱۲۰ هرتز اضافه شود، به تعداد گره ها یکی اضافه می شود. اگر سرعت امواج در تار $۱۵۰ \frac{m}{s}$ باشد، طول موج در هماهنگ ششم این تار چند متر است؟

۱) $\frac{۵}{۸}$ ۲) $\frac{۵}{۱۲}$ ۳) $\frac{۵}{۲۴}$ ۴) $\frac{۵}{۴۸}$

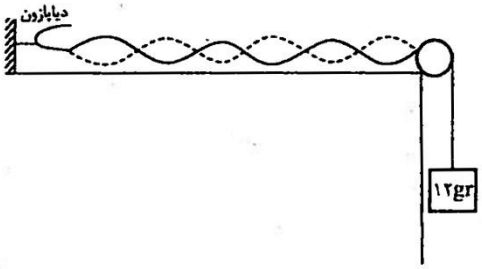
تست ۳۷: در تاری ۷ گره تشکیل شده است. اگر نیروی کشش تار را ۴ برابر کنیم و با همان منبع مجدداً تار را به ارتعاش درآوریم، تعداد گره ها در حالت جدید چند عدد است؟

۱) ۲ ۲) ۳ ۳) ۴ ۴) ۵

تمرین ۲۱: در شکل مقابل توسط یک منبع ارتعاشی طنابها مرتعش شده و در آنها موج ایستاده به وجود می‌آید. اگر شعاع طناب کلفت‌تر ۳ برابر باشد و در محل تماس طناب ها گره تشکیل شده باشد، حداقل تعداد گره ها در این تارها چند عدد است؟




تست ۳۸: در شکل مقابل در طناب ۷ گره تشکیل شده است، جرم جسم را چقدر و چگونه تغییر دهیم تا دیگر امواج ایستاده تشکیل نشود؟




۱) ۳۶ گرم به آن اضافه کنیم

۲) ۹ گرم از آن کم کنیم

۳) ۶ گرم از آن کم کنیم

۴) ۸۴ گرم به آن اضافه کنیم

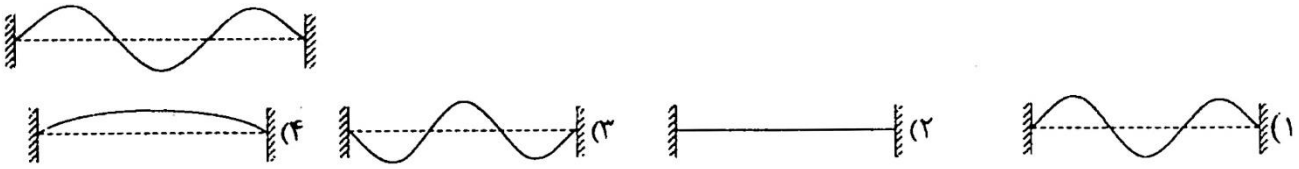
تست ۳۹: بسامد اصلی سیمی f است. اگر همان سیم را دولا کنیم و با همان نیروی کشش قبلی بکشیم، بسامد اصلی سیم جدید چند f می گردد؟

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

تست ۴۰: طول سیم A، ۲ برابر سیم B و نیروی کشش سیمA، ۹ برابر سیم B است. فرکانس در حالتی که در طناب A نقش موج با ۵ گره تشکیل شده باشد با فرکانس صوت چندم B برابر است؟ (جرم واحد طول طناب ها برابر است)

۱) ۵ ۲) ۶ ۳) ۸ ۴) ۱۸

تست ۴۱: نقش موج ایستاده در طناب در یک لحظه به صورت زیر است، $\frac{5T}{4}$ بعد از این لحظه شکل طناب چگونه است؟




## موج ایستاده و تشدید در لوله های صوتی:

وقتی موج صوتی در هوای داخل لوله حرکت می کند، از هر انتها بازمی‌تابند و به درون لوله بازمی‌تاباند، حتی اگر انتهای آن باز باشد.( البته بازتاب از انتهای بسته کامل تر از انتهای باز است.)

مشخصه های موج ایستاده در لوله:

۱) انتهای بسته لوله مانند انتهای ثابت ریسمان است که در آنجا گره تشکیل می شود.

۲) در انتهای باز لوله شکم تشکیل می شود.

۳) فاصله گره های مجاور از هم $\frac{\lambda}{2}$ و گره ازشکم مجاور $\frac{\lambda}{4}$ است.

نقش موج ایستاده در دو نوع لوله یکی دو سر باز و یکی یک سر باز برای ۳ مد اول به صورت زیر است:

نکته: در لوله یک سر باز تعداد گره ها و شکم ها برابر است ولی در لوله دو سر باز تعداد شکم ها یکی از تعداد گره ها بیشتر است.

تست ۴۲: وقتی آب را از بالا به درون یک پارچ می‌ریزیم با بالا آمدن سطح آب در پارچ، بسامد صدایی که از مقدار هوای خالی پارچه دیده می‌شود:

۱) افزایش ۲) کاهش ۳) ثابت ۴) هر سه ممکن است

تست ۴۳: در لوله ۲ سر بازی ۳ شکم به وجود آمده و طول موج در این حالت ۰/۵ متر است. طول لوله چند متر است؟

۱) ۰/۵ ۲) ۱ ۳) ۰/۷۵ ۴) ۰/۶۲۵

تست ۴۴: در یک لوله صوتی مجموع تعداد گره ها و شکم ها ۸ عدد است. اگر فاصله هر گره با شکم مجاورش ۱۰cm باشد، طول لوله چند سانتی متر است؟

۱) ۵۰ ۲) ۶۰ ۳) ۷۰ ۴) ۸۰

تست ۴۵: در لوله صوتی به طول ۴۰cm موج ایستاده تشکیل شده است. حداکثر مقدار ممکن طول موج چند سانتی متر است؟

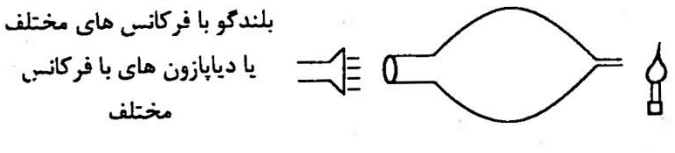
۱) ۲۰ ۲) ۴۰ ۳) ۸۰ ۴) ۱۶۰

## تشدید در بطری و تشدید هلمهولتز

اگر در قسمت بالای یک بطری (شبیه به لوله یک سر بسته) دمیده شود، در صورتی که بسامد صوت دمیده شده با بسامد تشکیلی بطری برابر باشد یک موج صوتی قوی ایجاد می‌شود. البته نوسان بطری دقیقا مثل نوسان لوله صوتی نیست. زیرا قسمت باریک (گردن لوله) و قسمتی دیگر دارد که چیزی به نام تشدیدگر هلمهولتز را ایجاد می کند.

آزمایش جالب

آیا فرکانس بلندگو مدام تغییر کند در بعضی از فرکانس ها شعله شمع خیلی منحرف می شود. در این حالت حتماً فرکانس بلندگو با یکی از فرکانسهای تشدیدی تشدیدگر منطبق شده است.




تست ۴۶: اگر دمای هوای یک لوله صوتی را افزایش دهیم، فرکانس اصلی آن و طول موج در مد اول این لوله به ترتیب چگونه تغییر می کند؟

۱) افزایش-ثابت ۲) ثابت-افزایش ۳) افزایش-افزایش ۴) ثابت-ثابت