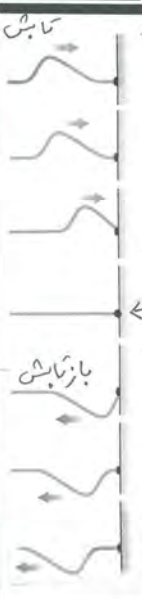
۴ برهم‌کنش‌های موج

فصل

در این تصویر نقشی شگفت‌انگیز از امواج دریا موسوم به دریای شطرنجی (Cross Sea) را می‌بینید.



طرح از پیشروی و بازتاب (یک‌بُعدی) تپ

تپ می‌رسد.

عرض

وقتی تپ به یک مانع سخت می‌رسد

تپ وقتی بازمی‌تابد، وارونه می‌شود.

هم قله از بالا به پائین آمده و هم جهت انتشار عوض شده ولی سرعت تپ تغییر نکند چون محیط فرق نکرده

پاسخ دهید؟

آیا تاکنون پژواک صدای خود را شنیده‌اید؟ پژواک نمونه‌ای از بازتاب امواج مکانیکی است. برخی از جانداران نظیر خفاش از همین ویژگی برای یافتن مسیر خود یا طعمه استفاده می‌کنند (شکل ۴ـ۱). امواج الکترومغناطیسی (از جمله نور) نیز بازمی‌تابند. در واقع همان‌طور که در علوم هشتم آموختیم، وقتی نور بازتابیده از جسمی به چشم ما برسد، آن جسم را می‌بینیم. بازتاب، تنها راه برهم‌کنش امواج با محیط نیست. شکست نیز نوع دیگری از برهم‌کنش امواج با محیط است.

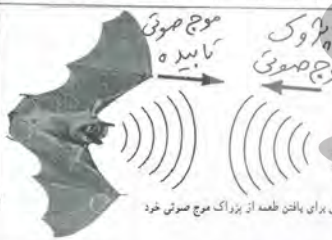
... نمونه‌ای از بازتاب امواج مکانیکی

یکی از کاربردهای طبیعی پژواک ⟵ .....

غلط یا درست { نور موج مکانیکی است. }

صوت بازتاب { دارد ☐ ندارد ☐ }

دو نمونه از برهم‌کنش امواج با محیط: (بازتاب و شکست)



شکل ۴ـ۱ خفاش برای یافتن طعمه از پژواک موج صوتی خود استفاده می‌کند.

شکل ۴ـ۲ شکارچیان بومی آمریکای جنوبی به تجربه دریافته‌اند که محل واقعی یک ماهی متفاوت با محلی است که آن را می‌بینند.

امواج هم با محیط و هم با امواج دیگر برهم کنش دارند.

این برهم کنش ها ، هم در مورد امواج مکانیکی و هم در مورد امواج الکترومغناطیس صدق می کند.

نمونه‌ای از برهم کنش امواج با محیط : بازتاب ، پراش و شکست (مانند پژواک صوت)

نمونه‌ای از برهم کنش امواج با هم : تداخل

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

پاسخ دهید :

① چه موقع شکست رخ می دهد ؟

شکست وقتی رخ می‌دهد که جهت پیشروی موج در ورود به یک محیط جدید تغییر کند. وقتی یک ماهی را از بالای برکه‌ای می‌بینید، آن را در مکان واقعی خود مشاهده نمی‌کنید، بلکه مکانی ظاهری بر اثر شکست نور را ادراک می‌کنید (شکل ۴ـ۲). همان‌طور که خواهیم دید، شکست برای امواج مکانیکی نیز رخ می‌دهد. پراش نیز نوع دیگری از برهم‌کنش امواج با محیط است. امواج نه تنها با محیط بلکه با یکدیگر نیز برهم‌کنش می‌کنند. تداخل نمونه‌ای از برهم‌کنش امواج با یکدیگر است.

② شکست در (امواج مکانیکی ☐ امواج الکترومغناطیس ☐ هردو ☐) رخ می دهد

③ علت دیدن ماهی در مکان غیرواقعی آن ..... است .

④ پراش برهم‌کنش ..... و ..... ⑤ امواج برهم‌کنش دارند (فقط با محیط ☐ فقط با امواج دیگر ☐ هردو ☐)

⑥ تداخل نمونه‌ای از برهم‌کنش ..... و .....

پاسخ دهید :

① چند مثال از کاربرد بازتاب موج در زندگی

② تولید صوت در یک ساز .....

③ در مترو یا سینما چگونه یک تپ بازتاب می کنید ؟ (شکل ص ۱ سمت چپ)

تولید صدا در آلات موسیقی، پژواک صداها، دیدن ماه، دیدن صفحهٔ این کتاب، گرم شدن مواد غذایی در اجاق‌های خورشیدی، جمع شدن امواج رادیویی در کانون آنتن‌های بشقابی و... مثال‌هایی از کاربرد بازتاب امواج در زندگی هستند. در این بخش، نخست بازتاب امواج مکانیکی و سپس بازتاب امواج الکترومغناطیسی را بررسی می‌کنیم.

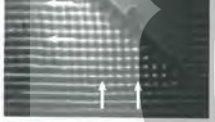
بازتاب امواج مکانیکی : اگر تپی را در یک فنر (یا یک ریسمان) کشیدهٔ بلند که یک سر آن بر تکیه‌گاهی ثابت بسته است روانه کنیم، وقتی تپ به تکیه‌گاه (مرز) می‌رسد نیرویی به آن وارد می‌کند و طبق قانون سوم نیوتون، تکیه‌گاه نیز نیرویی با اندازهٔ برابر و در جهت مخالف بر فنر وارد می‌آورد. این نیرو در محل تکیه‌گاه، تپی در فنر ایجاد می‌کند که روی فنر در جهت مخالف تپ تابیده حرکت می‌کند

(ص ۲۸ ف ۳ درجزوه)
(در پایش همین پاراگراف آمده)

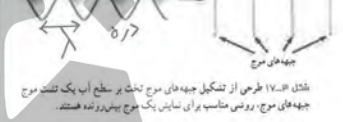
به خاطر داریم وقتی تیغهٔ تختی را بر سطح آب تشت موج به نوسان درمی‌آوردیم، امواج تختی بر سطح آب تشکیل می‌شد. اکنون اگر بر سر راه این امواج مانع‌هایی قرار دهیم، این امواج پس از برخورد با این موانع بازمی‌تابند. به‌چنین بازتابی، بازتاب در دو بُعد می‌گویند. ساده‌ترین شکل یک مانع، مانعی تخت است. در حضور این نوع مانع، امواج بازتابیده نیز تخت‌اند (شکل ۴ـ۵)[1]. شکل ۴ـ۶ طرحی از چنین بازتابی را نشان می‌دهد. با استفاده از جبهه‌های موج می‌توانیم به‌طور تجربی به رفتار موج در برخورد با یک مانع بی ببریم. طرح معادل دیگری برای نشان دادن رفتار موج، استفاده از نمودار پرتویی است. یک پرتو، پیکان مستقیمی عمود بر جبهه‌های موج است که جهت انتشار موج را نشان می‌دهد. بدین ترتیب می‌توان نمودار پرتویی شکل ۴ـ۶ را در حضور جبهه‌های موج به‌صورت شکل ۴ـ۷ رسم کرد. زاویهٔ بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی تابیده (فرودی) را با زاویهٔ تابش می‌نامند و با θ_i نشان می‌دهند[2] و زاویهٔ بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی بازتابیده را با زاویهٔ بازتابش می‌نامند و با θ_r نشان می‌دهند[3]. آزمایش‌هایی نظیر آنچه در شکل ۴ـ۵ نشان داده شده است، ثابت می‌کند که برای هر وضعیت مانع، و همهٔ انواع دیگر موج، مانند امواج دایره‌ای یا کروی نیز، همواره زاویهٔ بازتابش برابر با زاویهٔ تابش است یعنی: $\theta_r = \theta_i$ که به آن، قانون بازتاب عمومی گفته می‌شود.

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

نمونهٔ دیگری از بازتاب امواج مکانیکی، بازتاب امواج صوتی است. صوت می‌تواند از یک سطح سخت مانند دیوار بازتابش کند. این مثالی از بازتاب امواج در سه بُعد است. بازتاب صوت نیز از همان قانون بازتاب عمومی پیروی می‌کند. در فعالیت ۴ـ۱ به تحقیق این امر می‌پردازیم.



(در تشت موج)



شکل ۴ـ۶ـ۱۷ طرحی از تشکیل جبهه‌های موج تخت بر سطح آب یک تشت موج. جبهه‌های موج، روشی مناسب برای نمایش یک موج پیش‌رونده هستند.

پاسخ دهید

۱) یک روش تولید موج تخت؟
۲) منظور از بازتاب در دو بُعد؟
۳) ساده‌ترین مانع؟
۴) یک روش تجربی برای بررسی رفتار موج هنگام برخورد به مانع چیست؟
۵) روش ترسیمی برای رفتار موج هنگام برخورد به مانع معرفی کنید.
۶) منظور از زاویهٔ تابش و زاویهٔ بازتابش چیست؟
۷) قانون بازتاب عمومی ($\theta_i = \theta_r$) چه می‌گوید؟ در چه مواقعی صدق می‌کند؟
۸) یک نمونه از بازتاب موج مکانیکی را بیان کنید.
۹) بازتاب صوت سه بُعدی است.
۱۰) بازتاب صوت از قانون بازتاب عمومی

توجه : θ_i (تابش = incident)
θ_r (بازتابش = reflection)

توجه : فقط اگر طول مانع تخت خیلی بزرگتر از λ (طول موج) باشد موج‌های تابش و بازتاب در تک موج را می‌توان تخت در نظر گرفت در غیر این صورت پدیده پراش رخ می‌دهد و دیگر جبهه‌ها تخت نیستند.

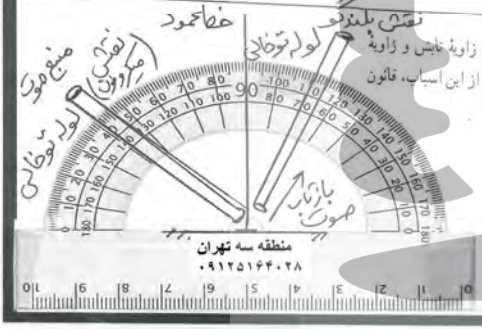
توجه : قانون عمومی بازتاب در امواج صوتی که مکانیکی اند و در امواج الکترومغناطیس (مانند نور مرئی) صدق می‌کند

یعنی ← در همهٔ امواج مکانیکی صدق نمی‌کند (مانند طناب)
↙ در همهٔ امواج الکترومغناطیس صدق می‌کند (مانند گاما)

توجه : این قانون در هر نوع سطحی چه آینه باشد چه نباشد چه تخت باشد چه خمیده چه مقعر صدق می‌کند. ($\theta_i = \theta_r$)

فعالیت ۴-۱

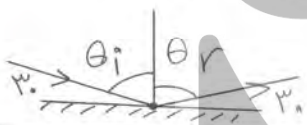
با اسباب نشان داده شده در شکل روبه‌رو، می‌توان زاویهٔ تابش و زاویهٔ بازتابش را در امواج صوتی اندازه‌گیری کرد. با استفاده از این اسباب، قانون بازتاب عمومی را برای امواج صوتی تحقیق کنید.



نمایشی از اسباب آزمایش بازتاب صوت

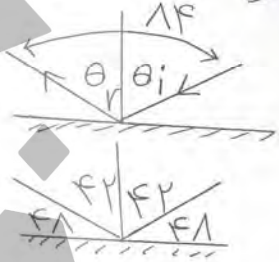
اگر لوله گیرنده را به آرامی بچرخانیم وقتی $\theta_i = \theta_r$ شدیدترین صوت شنیده می‌شود

در هر مورد زاویه تابش (θ_i) و زاویه بازتابش (θ_r) را بدست آورید: ① پرتو تابش با سطح آینه زاویه ۳۰° می سازد

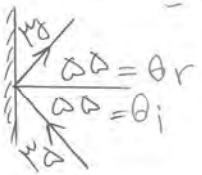


$\theta_i = \theta_r = ۹۰ - ۳۰ = ۶۰$

② پرتو تابش و پرتو بازتابش زاویه ۸۴ درجه می سازند



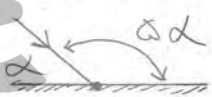
③ خط عمود با پرتو تابش زاویه ۵۵° می سازد



④ پرتو تابش موازی خط عمود

$\theta_i = \theta_r = ۰$

⑤ زاویه پرتو بازتابش با سطح آینه ۵ برابر زاویه پرتو تابش با سطح آینه از طرف دیگر است

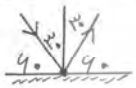


$۶\alpha = ۱۸۰$
$\alpha = ۳۰$

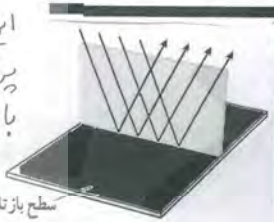
⑥ زاویه پرتو تابش با پرتو بازتابش برابر زاویه پرتو تابش با سطح آینه است

$۳\alpha = ۱۸۰$
$\alpha = ۶۰$

$\theta_i = \theta_r = \frac{۳۰}{۲}$

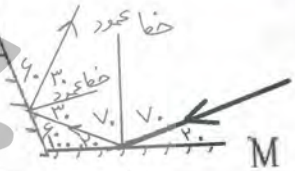


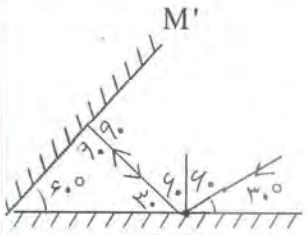
منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸



این شکل می گوید پرتوهای تابش و بازتاب در یک صفحه هستند

در این حالت هم $(\hat{\theta}_i = \hat{\theta}_r)$





زاویه بین دو آینه ۶۰°

$\theta_i = \theta_r = 60^\circ$ (M)

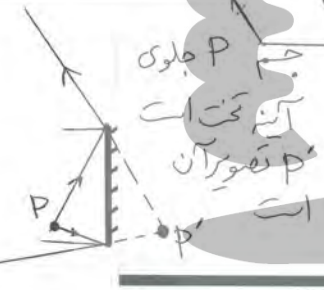
$\theta_i = \theta_r = 0^\circ$ (M')

رابطه α و β چیست؟

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

$\alpha = \beta$ (اعداد دلخواه)

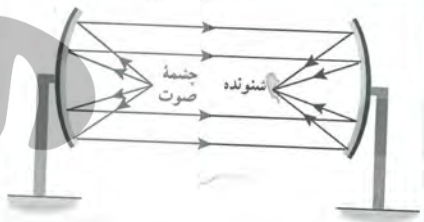
در M_2 : $\theta_i = \theta_r = 0$



جسم P جلوی آینه تخت است

P' تصویر آن است

افراد A و B و C می توانند P را ببینند ولی فرد D نمی تواند

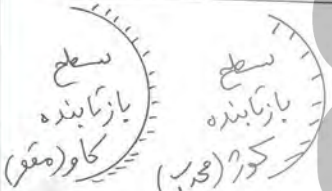


امواج صوتی می‌توانند مانند سایر امواج از سطوح خمیده نیز بازتابیده شوند. شاید در پارک‌های تفریحی دو سطح کاو را در برابر هم دیده باشید.

وقتی شخصی در کانون یکی از این سطوح صحبت می‌کند، شخص دیگری در کانون سطح کاو دیگر آن را می‌شنود (شکل ۴ـ۸).

وقتی پرتوهای موازی با محور به سطح بتابد در کانون متمرکز می‌شود

وقتی منبع موج در کانون باشد پرتوهای بازتابش موازی محور هستند



پرتوهای موازی

دربارهٔ میکروفون سهموی که از آن برای ثبت صداهای ضعیف و دستگاه لیتوتریپسی که از آن برای شکستن سنگ‌های کلیه، با کمک بازتابنده‌های بیضوی استفاده می‌شود تحقیق کنید.

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

تصویری از یک میکروفون سهموی

توجه: به واژه سهموی نه کروی دقت شود

تفاوت بازتابنده کروی و سهموی

کانون دقیقاً یک نقطه است

کانون دقیقاً یک نقطه است (مانند کاسه چراغ ۴ تومیل و میکروفون سهموی)

پژواک[۲]: در برابر دیواره یا صخرهٔ بلندی که چند ده متر از شما فاصله دارد، بایستید و یک بار دست بزنید. پس از مدت زمان کوتاهی، بازتاب صدای دست زدن خود را خواهید شنید. اگر صوت پس از بازتاب، با یک تأخیر زمانی به گوش منونده‌ای برسد که صوت اولیه را مستقیماً می‌شنود، به چنین بازتابی پژواک می‌گویند. اگر تأخیر زمانی بین این دو صوت کمتر از ۰/۱s باشد، گوش انسان نمی‌تواند پژواک را از صوت مستقیم اولیه تمیز دهد.

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

فناوری و کاربرد: مکان‌یابی پژواکی

مکان‌یابی پژواکی[۳] روشی است که بر اساس امواج صوتی بازتابیده از یک جسم، مکان آن جسم را تعیین می‌کند. مکان‌یابی پژواکی به همراه اثر دوپلر که در فصل پیش آموختیم، در تعیین مکان اجسام متحرک و نیز تعیین تندی آنها به‌کار می‌رود. برخی از جانوران نظیر خفاش و دُلفین از این روش استفاده می‌کنند. همین‌طور در فناوری‌هایی نظیر اندازه‌گیری تندی شارش خون در رگ‌ها نیز از این روش استفاده می‌شود. خفاش، فورانی از امواج فراصوتی را گسیل می‌کند که این بسته به نوع خفاش از دهان یا سوراخ‌های بینی آن گسیل می‌شود. این امواج از اشیایی که در مسیر خفاش قرار دارند بازمی‌تابد و بدین ترتیب خفاش را از اشیایی که بر سر راه او قرار دارند آگاه می‌سازد. البته بسته به اینکه شیء بازتابنده، خود خفاش، یا هر دو متحرک باشند، خفاش تغییر بسامدی ناشی از اثر دوپلر را در موج بازتابیده ادراک می‌کند و بدین‌وسیله می‌تواند سرعت خود یا شیء متحرک را تعیین کند. خفاش‌ها از این ویژگی برای شناسایی و شکار طعمه‌های خود استفاده می‌کنند. همچنین در دستگاه سونار که در کشتی‌ها برای مکان‌یابی اجسام زیر آب به‌کار می‌رود، و در سونوگرافی نیز از مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود.

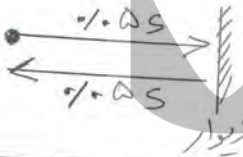
پاسخ دهید
① پژواک را تعریف کنید
② چرا وقتی صوتی تولید می‌کنیم برای اجسام نزدیک، پژواک را متوجه نمی‌شویم؟ ③ قدرت تمیز دادن گوش انسان بین صوت اصلی و پژواک چه مدت است؟

پاسخ دهید
① مکان یابی پژواکی چیست؟
② برای مکان یابی پژواکی اجسام متحرک چه بخشی از فیزیک باید توجیه‌گر باشد؟
③ در مکان یابی پژواکی دو هدف مهم وجود دارد، بیان کنید (جواب: تعیین مکان اجسام متحرک و تعیین تندی آنها)
④ تندی شارش خون در رگ‌ها برچه اساس است؟ (جواب: مکان یابی پژواکی) ⑤ وظیفه دستگاه سونار و محل کاربرد آن را بیان کنید ⑥ دستگاه سونوگرافی چگونه عمل می‌کند؟ ⑦ خفاش چه نوع صوتی با دهان یا بینی خود تولید می‌کند؟ ⑧ اساس درک خفاش از اجسام دیگر چیست؟

تمرین ۴ـ۱

کمترین فاصلهٔ بین شما و یک دیوار بلند چقدر باشد تا پژواک صدای خود را از صدای اصلی تمیز دهید؟ تندی صوت در هوا را ۳۴۰m/s در نظر بگیرید.

بین صوت اصلی و پژواک باید حداقل $\frac{1}{10}$ ثانیه فاصله باشد



$x = vt$

$x = ۳۴۰ \times ۰/۰۵ = ۱۷ m$

مثال ۴ـ۱

وال عنبر یکی از جانورانی است که با استفاده از پژواک امواج فراصوتی، مکان‌یابی می‌کند. بسامد امواج فراصوتی‌ای که این وال تولید می‌کند حدود ۱۰kHz است. با توجه به اینکه تندی صوت در آب دریا طبق جدول ۳ـ۱ حدود $۱/۵۲ \times ۱۰^{۳} m/s$ است، الف) طول موج این صوت و ب) زمان رفت و برگشت صوت گسیل شده توسط وال برای مانعی که در فاصلهٔ ۱۰۰m از آن قرار گرفته، چقدر است؟

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{۱۵۲۰}{۱۰^{۵}} = ۱/۵۲ \times ۱۰^{-۲} m = ۱/۵۲ cm$

یک شباهت مهم عملکرد وال عنبر و خفاش را بیان کنید؟

① وال عنبر از چه نوع صوتی برای مکان‌یابی کمک می‌گیرد؟

② امواج فراصوتی چه بسامدی دارند؟

همان‌طور که بعداً در بحث پراش خواهید دید برای تشخیص یک جسم، اندازهٔ آن باید در حدود طول موج به‌کار رفته یا بزرگ‌تر از آن باشد. بنابراین، وال اجسامی در حدود این طول‌موج یا بزرگ‌تر را می‌تواند تشخیص دهد.

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

ب) زمان لازم برای حرکت رفت و برگشت صوت بین وال و مانع برابر است با:

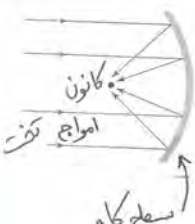
$t = \frac{x}{v} = \frac{۲L}{v} = \frac{۲ \times ۱۰۰ m}{۱/۵۲ \times ۱۰^{۳} m/s} = ۰/۱۳۲s$ (کیلو نو اف)

$x = vt$

③ طبق پدیدهٔ پراش حداقل ابعاد یک جسم برای تشخیص داده شدن چقدر است؟ ④ وال عنبر چه اجسامی را تشخیص می‌دهد؟

بازتاب امواج الکترومغناطیسی : امواج الکترومغناطیسی نیز می‌توانند از یک سطح، بازتابیده شوند و بازتاب آنها از همان قانون بازتاب عمومی پیروی می‌کند.

امواج الکترومغناطیسی تخت تابیده به یک سطح کاو پس از بازتابش، مانند شکل ۴ـ۹ الف در یک نقطه کانونی می‌شوند. این نمونهٔ دیگری از بازتاب در سه بُعد است. از همین سازوکار برای دریافت امواج رادیویی توسط آنتن‌های بشقابی و یا امواج فروسرخ برای گرم کردن آب یا مواد غذایی در اجاق‌های خورشیدی (شکل ۴ـ۹ ب) استفاده می‌شود.



① امواج الکترومغناطیس (مانند نور مرئی) طبق قانون بازتاب عمومی، بازتابیده می‌شوند

② کانونی شدن امواج الکترومغناطیس بازتابیده از سطح کاوی نمونه‌ای از بازتاب سه بعدی است.

③ در آنتن بشقابی، امواج رادیویی کانونی می‌گردد.

④ در اجاق‌های خورشیدی، امواج فروسرخ برای گرم کردن آب یا مواد غذائی کانونی می‌شود.

فعالیت ۴ـ۳

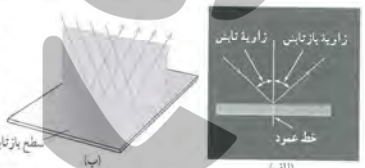
رادار دوپلری : از امواج الکترومغناطیسی نیز می‌توان برای مکان‌یابی پژواکی استفاده کرد. در این مورد و کاربرد آن به‌خصوص در تعیین تندی خودروها تحقیق کنید.

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

موج الکترومغناطیس مانند صوت دارای پژواک است یعنی موجی که از آنتن به ماشین گیل می‌گردد پس از بازتاب به آنتن بازخواهد گشت اگر ماشین به طرف آنتن درحرکت باشد فرکانس موج بازتاب بیشتر از موج اصلی است و اگر از آنتن دور شود فرکانس کمتر از فرکانس اصلی است

(با کمک پدیده و فرمول‌های دوپلر سرعت ماشین محاسبه می‌گردد)

همان‌طور که قبلاً دیدیم نور مرئی بخشی از طیف امواج الکترومغناطیسی است. بنابراین نور مرئی نیز از همان قانون بازتاب عمومی امواج پیروی می‌کند؛ یعنی زاویهٔ تابش و بازتابش در هر بازتابشی با هم برابرند (شکل ۴ـ۱۰ الف)، افزون بر این، برای نور مرئی نیز همچون سایر امواج، پرتوی تابش، پرتوی بازتابش، و خط عمود بر سطح بازتاباننده، در هر بازتابشی در یک صفحه واقع‌اند (شکل ۴ـ۱۰ ب).



شکل ۴ـ۱۰ الف) در هر بازتابشی زاویهٔ تابش و زاویهٔ بازتابش با هم برابرند. ب) پرتوی تابش، پرتوی بازتابش، و خط عمود بر سطح بازتاباننده، در یک صفحه واقع‌اند.

در مواردی که سطح بازتاباندهٔ نور همچون یک آینه، بسیار هموار باشد، بازتاب نور را بازتاب آینه‌ای یا منظم می‌گویند.

بازتاب منظم یا اینه ای

نوع دیگر بازتابش، بازتاب پخشنده یا نامنظم است. این بازتاب وقتی رخ می‌دهد که نور به سطحی برخورد کند که صیقلی و هموار نباشد. پرتوهای نور به‌طور کاتوره‌ای از پستی و بلندی‌های سطح بازتابیده، و در تمام جهات پراکنده می‌شوند (شکل ۴ـ۱۱). به‌دلیل این بازتاب است که شما این صفحهٔ کاغذ، دیوار، دستمال، دوست خود، و... را می‌بینید. در بازتاب آینه‌ای از یک آینهٔ تخت، بازتابش یک دسته پرتوی موازی را فقط در یک جهت می‌توانید ببینید، ولی در بازتاب پخشنده، بازتابش این دسته پرتو را می‌توانید در جهت‌های مختلف مشاهده کنید. توجه کنید منظور از سطح ناهموار آن است که سطح در مقایسه با طول موج نور ناهموار است؛

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

بازتاب نامنظم یا پخشنده

پاسخ دهید
① نور مرئی قسمتی از امواج ..... است
② نور مرئی از قانون بازتاب عمومی امواج پیروی (می‌کند - نمی‌کند)
③ در نور مرئی و سایر امواج پرتو ..... و پرتو ..... و خط عمود بر سطح بازتابنده (در بازتابش منظم) (در بازتابش نامنظم) (در هر دو حالت) در یک صفحه هستند

توجه: فقط آینه تخت بازتاب منظم دارد ولی همهٔ سطوح از قانون عمومی بازتاب پیروی می‌کنند

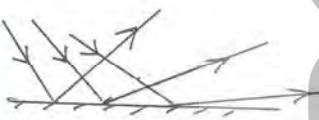
پاسخ دهید : ① بازتاب پخشنده در موقع رخ می دهد؟

② در بازتاب پخشنده ، پرتوهای بازتاب به طور .....

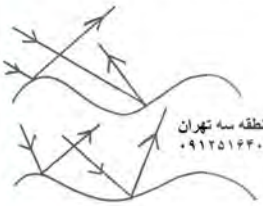
و در تمام ..... پراکنده می شوند.

دقت کنید :

① اگر به سطحی هموار و صیقلی پرتوهای موازی بتابد پرتوهای بازتاب موازی است



② اگر به سطحی هموار و صیقلی پرتوهای کانونه ای بتابد پرتوهای بازتاب کانونه ای است



③ اگر به سطحی غیرهموار و غیرصیقلی پرتوهائی موازی و یا غیرموازی بتابد ، درهرحال پرتوهای بازتاب کانونه ای است .

④ تأکید می شود درهرنوع بازتاب و درهرنوع سطحی که باشد فرقی ندارد زاویهٔ تابش = زاویهٔ بازتابش

پرتو تابش و پرتو بازتابش و خط عمود برنقطهٔ تابش همگی

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

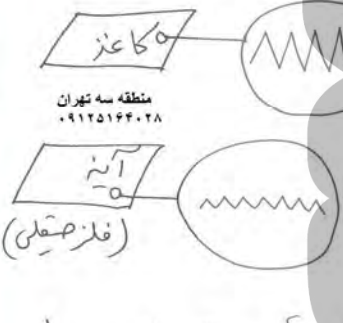
در یک صفحه هستند

منظور از سطح ناهموار چیست؟ سطحی که در مقایسه با طول موج نور ناهموار است.

آیا یک ورق کاغذ برای نور مرئی سطحی هموار محسوب می‌شود؟

مثلاً یک کاغذ در ظاهر بسیار هموار به نظر می‌رسد اما از دید میکروسکوپی این سطح از اجزای متمایز و کوچکی تشکیل شده است که بسیار بزرگ‌تر از ۱μm هستند. با توجه به اینکه طول موج نور مرئی در حدود ۰/۵ μm است، چنین سطحی برای نور مرئی، ناهموار محسوب می‌شود. در مقابل، ناهمواری‌های یک آینه یا یک سطح فلزی صیقلی، بسیار کوچک‌تر از ۱μm است و بنابراین برای نور مرئی سطوحی هموار محسوب می‌شوند.

(طول موج نور مرئی (در حدود $\lambda = 0/5\ \mu m$) ←



برای نور مرئی:
- خلل بزرگ‌تر از 1μm (ناهموار)
- خلل کوچک‌تر از 1μm (هموار)

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

مثال: طول موج امواج رادیویی بیش از 1m است آیا کاغذ برای آن هموار محسوب می‌گردد؟

بله ـ چون اندازه ناهمواری آن خلل کمتر از طول موج است

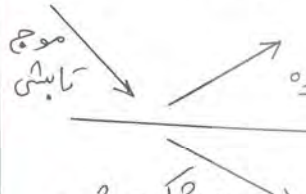
مثال: در سطوح معمولی صیقلی اندازه ناهمواری‌ها در حدود 1nm است آیا این سطوح اشعهٔ گاما را بازتاب خواهند کرد؟ خیر ـ طول موج گاما در حدود 1pm $= 10^{-12}$ متر است که خیلی از این عدد کوتاه‌تر می‌باشد

۴ـ۲ شکست موج

رنگ‌های رنگین کمان، تصویری که با کمک عینک می‌بینیم، تصاویری که با استفاده از عدسی‌های ابزارهای نوری مانند میکروسکوب و دوربین دیده می‌شود، و... مثال‌های رایجی از شکسته‌شدن موج‌های نوری در پیرامون ما است. این پدیده برای امواج صوتی نیز رخ می‌دهد ولی به اندازهٔ موج‌های نوری اهمیت ندارد. وقتی موج به مرز جدایی دو محیط می‌رسد بخشی از آن بازتابیده می‌شود و بخشی دیگر عبور می‌کند که این افزون بر جذب موج است که در هر دو محیط رخ می‌دهد؛ مثلاً عبور یک تپ در طول طنابی را در نظر بگیرید که از دو بخش، یکی نازک و دیگری ضخیم، تشکیل شده است. وقتی

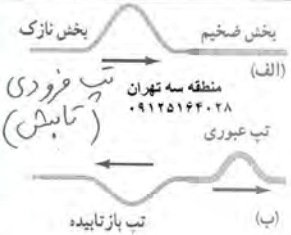
پاسخ دهید
① چند مثال از شکست موج نوری بیان کنید. ② آیا امواج صوتی هم شکست دارند؟

وقتی یک موج به مرز جدایی دو محیط می‌رسد چه سرنوشتی می‌یابد؟



(قسمتی از موج) جذب هر دو محیط می‌شود

طنابی با ساختمان شکل زیر را در نظر بگیرید و یک تپ از قسمت نازک به قسمت ضخیم بفرستید و نتیجه را پیش‌بینی کنید



منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

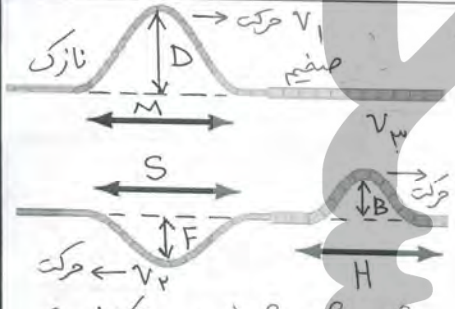
قسمتی از مرز دو محیط عبور می‌کند و وارد قسمت ضخیم می‌شود و قسمتی به محیط اصلی بازمی‌گردد

① بسامد موج تابیده و موج عبوری و موج بازتابیده برای حالتی که موج سینوسی باشد باهم برابرند

② بسامد موج توسط چشمه موج تعیین می‌گردد

③ $V > V$ تندی موج قسمت نازک — قسمت ضخیم

$f = f$ نازک — ضخیم $\rightarrow \left(\lambda = \frac{V}{f}\right) \rightarrow \lambda > \lambda$ ضخیم — نازک



وقتی موج از طناب نازک به ضخیم می‌رسد:

(علامت $<$ یا $=$ یا $>$)

$M = S > H$ (طول موج)

$D = F > B$ (سهم دامنه)

$V_1 = V_2 > V_3$ (سهم تندی)

$f_1 = f_2 = f_3$ (سهم فرکانس)

(حرف از جذب انرژی توسط محیط) مطرح نشده است

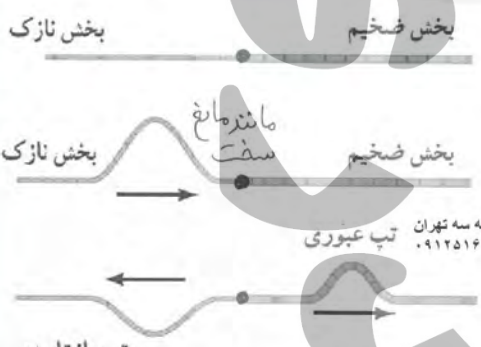
منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

عقیل اسکندری

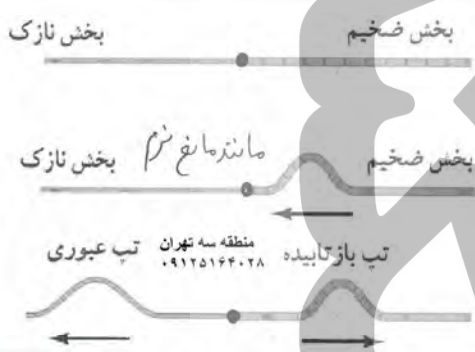
پرسش ۴-۱

اگر موج سینوسی از قسمت ضخیم طناب به قسمت نازک آن وارد شود، بسامد، تندی، و طول موج موج عبوری در مقایسه با موج فرودی چه تغییری می‌کند؟

جمع بندی



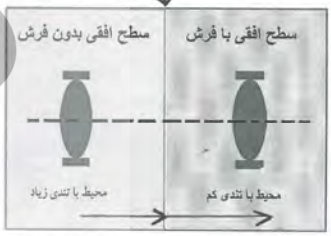
وقتی موج سینوسی از طرف نازک طناب به ضخیم می‌رود
فرکانس ثابت
طول موج کاهش
تندی کاهش



وقتی موج سینوسی از طرف ضخیم طناب به نازک می‌رود
فرکانس ثابت
طول موج افزایش
تندی افزایش

وقتی موج در محیط‌های دو بعدی از یک محیط به محیط دیگر می‌رود، تندی موج تغییر کند (زیرا تندی به محیط بستگی دارد) ولی جهت انتشار شاید تغییر کند (مثلاً شاید موج عمود بر سطح بتابد و در همان راستا وارد محیط بعدی شود) اگر جهت انتشار تغییر کند اصطلاحاً می‌گویند موج شکست پیدا کرده است

عقیل اسکندری



ماشین اسباب بازی عمود بر راستای مرز مشترک دو محیط حرکت میکند

در این حالت وقتی ماشین وارد محیط ضخیم تری شود سرعتش کم می شود ولی راستای حرکت ثابت می ماند

راستای حرکت ماشین اسباب بازی بر راستای مرز مشترک دو محیط عمود نیست

در این حالت وقتی ماشین وارد محیط ضخیم می شود سرعتش کم می شود ولی چون چرخ سمت پائین زودتر وارد محیط دوم می شود نسبت به چرخ بالائی در زمان مساوی مسافت کمتری طی می شود و ماشین به پائین منحرف می گردد

وقتی موج در سطح آب تشکیل می شود و از محیط عمیق به کم عمق می رود سرعتش کم می شود. اگر راستای حرکت موج بر راستای مرز مشترک دو محیط عمود نباشد آن قسمت از موج که زودتر به مرز جدائی می رسد، زودتر سرعتش کم می شود و موج مسافت کمتری پیش می رود و می شکند

(فرکانس ثابت و وقتی λ کم شود طول موج کم می شود)

موج در سطح آب

وقتی موج به ساحل نزدیک میشود عمق دریا کاهش می یابد

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

وقتی طول موج کم می شود فاصله هر قله تا قله بعدی کاهش می یابد.

بخوانید و پاسخ دهید

① چه موقع موج می شکند؟

② برای موج در سطح آب، عمق آب با تندی موج چه رابطه‌ای دارد؟

③ وقتی از موج که سرعتش کم می شود از قسمت دیگر موج (عقب می افتد - جلو می زند) و فاصله جبهه های موج (کم می شود - زیاد می شود) و طول موج (کم می شود - زیاد می شود)

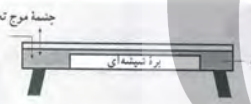
سرعت حرکت موج در سطح آب و طول موج و دامنه موج کاهش می یابند

در حالت‌های دو یا سه بُعدی با عبور موج از یک مرز و ورود آن به محیط دیگر، تندی موج تغییر می‌کند و ممکن است جهت انتشار موج نیز تغییر کند و اصطلاحاً موج شکست پیدا کند. همان‌طور که پیش از این دیدیم، تندی امواج روی سطح آب به عمق آن بستگی دارد. از این ویژگی می‌توانیم برای تحقیق پدیدهٔ شکست در تشت موج استفاده کنیم؛ یعنی با تغییردادن عمق آب در بخشی از تشت می‌توان تندی موج سطحی در آن بخش را تغییر داد که این همان‌طور که دیدیم به تغییر جهت انتشار موج در آن بخش، و به عبارتی به شکست موج می‌انجامد. مشاهده می‌شود با ورود موج به بخش کم‌عمق، تندی موج سطحی کاهش می‌یابد. روشن است، آن بخش موج که زودتر به ناحیهٔ کم‌عمق می‌رسد، چون با تندی کمتر حرکت می‌کند از بقیهٔ موج که هنوز وارد این ناحیه نشده عقب می‌افتد و بنابراین فاصلهٔ بین جبهه‌های موج و در نتیجه طول موج کاهش می‌یابد و به این ترتیب جبهه‌های موج مطابق شکل ۴ـ۱۳ در مرز دو ناحیه تغییر جهت می‌دهند. این مطلب را می‌توان در نزدیک شدن امواج به یک ساحل شیب‌دار نیز مشاهده کرد که با رسیدن جبهه‌های موج به ساحل که در آنجا عمق آب کم می‌شود، جهت انتشار جبهه‌های موج تغییر می‌کند. شاید برای تفهیم این موضوع، مثال یک اسباب‌بازی چرخ‌دار که با عبور از کف صاف اتاق وارد قالیچه‌ای می‌شود، مناسب باشد. با ورود این اسباب‌بازی به قالیچه، تندی آن کم می‌شود و در نتیجه مسیر آن تغییر

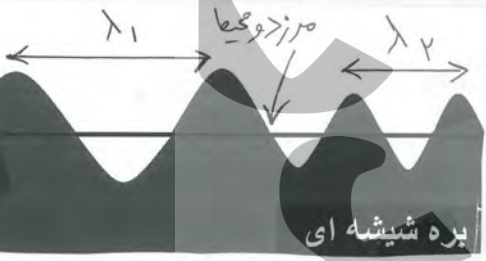
مثال) اگر در اثر تغییر عمق آب، تندی موج ۲۰٪ کاهش یابد و در محیط اول فاصله دو قله متوالی موج ۴ cm باشد در محیط دوم این فاصله چند cm می گردد؟

$\lambda = v/f$ ثابت $\rightarrow$ $\lambda_{جدید} = \frac{۴}{۵} \times ۴ = ۳/۲$ cm

○ تمرین ۴ـ۲



در یک تشت موجّ به کمک یک نوسان‌ساز تیغه‌ای که با بسامد ۵/۰ Hz کار می‌کند، امواجی تخت ایجاد می‌کنیم، به‌طوری که فاصلهٔ بین دو برآمدگی متوالی آن برابر با ۱۰ cm می‌شود. اگر اکنون پُره‌ای شیشه‌ای را در کف تشت قرار دهیم، امواج در ورود به ناحیهٔ کم‌عمقِ بالای پُره، شکست پیدا می‌کنند. اگر تندی امواج در ناحیهٔ کم‌عمق، ۰/۴۰ برابر تندی در ناحیهٔ عمیق باشد، طول‌موج امواج در ناحیهٔ کم‌عمق چقدر می‌شود؟



قسمت عمیق تشت موج — قسمت کم عمق

$\lambda = \frac{v}{f}$

$v_1 = 5 \times 0/1$

$v_1 = 0/5\ m/s$

$v_2 = \frac{4}{10} v_1$

$v_2 = \frac{4}{10} \times \frac{5}{10}$

$v_2 = 0/2\ m/s$

$\lambda_2 = \frac{v_2}{f} = \frac{0/2}{5} = \frac{2}{50} = \frac{4}{100}\ m$

$\lambda_2 = 4\ cm$

روش دیگر $f = \frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2} \rightarrow \frac{0/5}{10} = \frac{0/2}{\lambda_2} \rightarrow \lambda_2 = 4\ cm$

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

قانون شکست عمومی: در پدیده‌های شکستی که بررسی کردیم، قانونی حاکم است که اکنون به آن می‌پردازیم. فرض کنید مطابق شکل ۴ـ۱۵ جبهه‌های موج تختی به‌طور مایل به مرز دو محیط می‌رسند و سپس شکست پیدا می‌کنند. از آنجا که جبهه‌های موج در مرز جدایی دو محیط می‌شکنند، پرتوهای موج که همواره عمود بر جبهه‌های موج هستند در عبور از این مرز تغییر جهت می‌دهند. این پرتوها نیز در شکل ۴ـ۱۵ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که دیدیم در یک نمودار پرتویی، زاویهٔ پرتوی فرودی یا خط عمود بر مرز را با زاویهٔ تابش می‌نامند و با θ_1 نشان می‌دهند، در حالی که زاویهٔ پرتوی شکسته با خط عمود بر مرز را با زاویهٔ شکست می‌نامند و با θ_2 نشان می‌دهند[1]. در شکل ۴ـ۱۵، θ_1 با θ_1 و θ_2 با θ_2 نشان داده شده است.

بخوانید و پاسخ دهید

① شرط خم شدن شکست موج چیست؟

② پرتوها همواره بر جبهه های موج (عمود نر - هراستا هستند)

③ اگر پرتو تابش برسطح جدائی دو محیط عمود باشد موج (می شکند - نمی شکند)

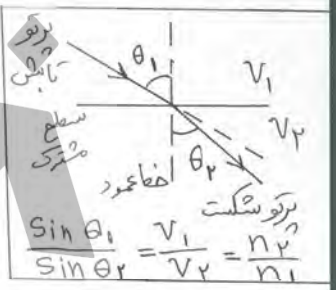
پرتو تابش الزاماً در هر نقطه عمود بر جبهه‌های تخت موج است (چه پرتو تابش بر سطح مشترک عمود باشد و چه بر آن عمود نباشد)

جبهه های تخت موج با سطح مشترک دو محیط موازی اند و پرتو تابش هم بر جبهه ها و هم بر سطح مشترک عمود است

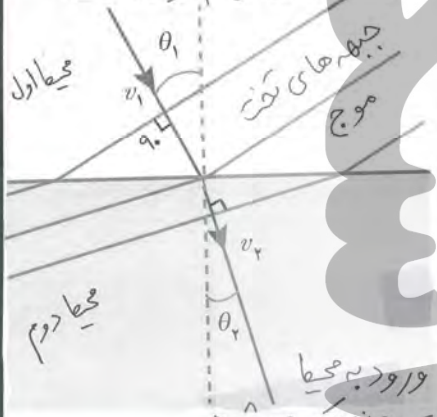
منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

$\theta_1 = \theta_2 = 0$ (پرتو تابش و پرتو شکست منطبق بر خط عمودند)

(θ زاویه خط عمود با هر پرتوات)



پرتو تابش در هر حال بر جبهه های تخت موج عمود است و موج وارد محیطی شده که تندی آن را کم کرده است



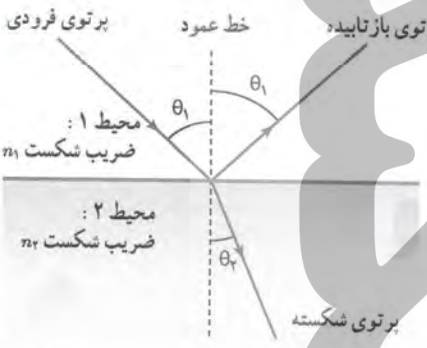
قسمت ب موج زودتر وارد محیط شده و چون تندی کم شده است مسافت کمتری طی کرده و موج شکسته شده است

در این حالت پرتو تابش پس از ورود به محیط دوم می شکند و به خط عمود نزدیک می شود

قانون شکست عمومی: اگر تندی انتشار موج فرودی V_1 و تندی انتشار موج شکست V_2 و زاویه پرتو تابش با خط عمود بر سطح مشترک θ_1 و زاویه پرتو شکست با خط عمود بر سطح مشترک θ_2 و ضریب شکست محیط اول n_1 و ضریب شکست محیط دوم n_2 باشد:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

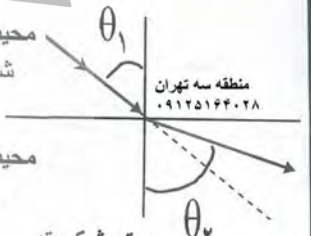
که به $(n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2)$ قانون شکست اسنل می‌گویند



وقتی پرتو نور فرودی به سطح مشترک می‌رسد قسمتی بازتاب می‌کند

زاویه تابش = زاویه بازتابش

و قسمتی دیگر شکسته می‌شود



منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

تمرین ۴ـ۳

در تمرین ۴ـ۲ با فرض اینکه زاویهٔ تابش امواج برابر ۳۰° باشد، زاویهٔ شکست چقدر می‌شود؟ این تمرین گویا نیست

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\frac{v_2}{v_1}\rightarrow\frac{\sin\theta_2}{\sin 30}=\frac{0/2}{0/5}\rightarrow\sin\theta_2=0/2$$

پرسش ۴ـ۲

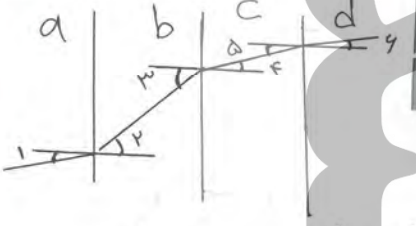
شکل روبه‌رو یک پرتوی موج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد که با عبور از محیط اولیهٔ a، از طریق محیط‌های b و c به محیط a بازمی‌گردد. این محیط‌ها را بر حسب تندی موج در آنها از بیشترین تا کمترین مرتب کنید.

از b ← a خط عمود دور شد

از c ← b به خط عمود نزدیک

از d ← c به خط عمود نزدیک

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸



بطور تقریبی

$\theta_2=\theta_3 > \theta_4=\theta_5 > \theta_1=\theta_6$

(b) (c) (a)(d)

رقیق‌ترین — بین آن دو حالت — غلیظ‌ترین

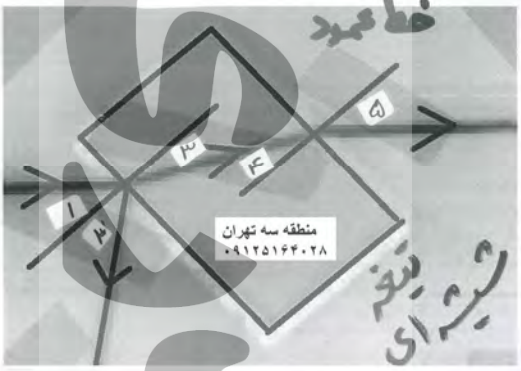
در امواج الکترومغناطیسی هرچه محیط رقیق‌تر باشد سرعت موج بیشتر است.

$v_b > v_c > v_a = v_d$

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

علت شکست موج الکترومغناطیسی تغییر ..... موج است

شکست امواج الکترومغناطیسی: امواج الکترومغناطیسی (و از جمله نور مرئی) نیز با گذر از یک محیط به محیطی دیگر که در آن تندی آنها متفاوت می‌شود، شکست پیدا می‌کنند. به جز گسترهٔ نور مرئی که بیشترین و معروف‌ترین موارد شکست برای آنها مطرح می‌شود و به پیامدها و کاربردهای جالبی می‌انجامد، شکست امواج رادیویی نیز اهمیتی کاربردی در ارتباطات رادیویی دارد.



پرتو شکست دوم

پرتو تابش اول

خط عمود

شیشه ای متوازی

پرتو بازتابش

وقتی نور از محیط شفاف اول به دوم می‌رود قسمتی می‌شکند و قسمتی بازتاب می‌کند

$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 > \theta_4 = \theta_5$

θ_1: زاویه تابش اول

θ_2: زاویه بازتابش اول

θ_3: زاویه شکست اول

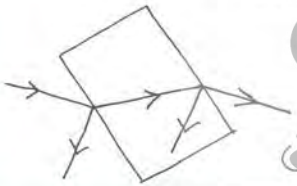
θ_4: زاویه تابش دوم

θ_5: زاویه شکست دوم

توجه: چون محیط اول و محیط آخر از یک غلظت هستند پرتو ورودی و خروجی موازی (هراستا) می‌شوند

توجه: درون شیشه هم پرتو بازتاب وجود دارد که کتاب اشاره نکرده است.

توجه: شکل بالا فقط در تیغه متوازی السطوح طویل صدق می‌کند



چه موقع پرتو نور شکسته می‌شود؟ (توجه تأکید بر شفاف بودن محیط)

وقتی یک پرتوی نور از محیطی شفاف وارد محیط شفاف دیگری شود، بخشی از نور بازمی‌تابد و بخشی دیگر وارد محیط دوم می‌شود. همان‌طور که انتظار داریم آن بخش نور که وارد محیط دوم می‌شود، به دلیل آنکه تندی آن در محیط دوم تغییر می‌کند، شکسته می‌شود (شکل ۴ـ۱۷). به همین دلیل برای هر محیط ضریب شکست تعریف می‌کنند که برابر با نسبت تندی نور در خلأ به تندی نور در آن محیط است:

$$n = \frac{\text{تندی نور در خلأ}}{\text{تندی نور در یک محیط}} = \frac{c}{v} \qquad (۴ـ۲)$$ (تعریف ضریب شکست)

وقتی نور به مرز جدائی دو محیط می‌رسد به چند بخش تقسیم می‌گردد؟ علت شکسته شدن نور چیست؟ ضریب شکست نور با چه برابر است؟

(یعنی ضریب شکست به طول موج (رنگ نور) بستگی دارد)

۱. ضریب شکست چند مادهٔ مختلف* * برای طول موج ۵۸۹nm (نور زرد سدیم)

محیط	ضریب شکست
خلأ	دقیقاً ۱
هوا (شرایط متعارف)	۱/۰۰۰۲۹
یخ	۱/۳۱
آب (۲۰°C)	۱/۳۳
استون	۱/۳۶
اتانول	۱/۳۶
محلول آب‌قند (٪۳۰)	۱/۳۸
محلول آب‌قند (٪۸۰)	۱/۴۹
پلاستیک پلکسی گلاس	۱/۵۱
بنزن	۱/۵۰
شیشهٔ خالص	۱/۵۲
سدیم کلرید (نمک خوراکی)	۱/۵۴
کوارتز (SiO_2)	۱/۵۴
الماس	۲/۴۲

* هرچه n بزرگتر ← محیط غلیظ‌تر
* خلأ دقیقاً $= 1$
* هوا تقریباً $= 1$
* خلأ ← $n_{min} = 1$
* n (ضریب شکست) با v (سرعت نور) رابطه عکس دارد
* الماس ← n_{max} ← v_{min}
* یخ (شفاف) از آب رقیق‌تر است
* بیشترین تندی نور در خلأ است $= v_{خلأ} = v_{هوا} = 3\times10^8\ m/s$

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

که در آن c تندی نور در خلأ با مقدار دقیق ۲۹۹ ۷۹۲ ۴۵۸ m/s است که در محاسبات، آن را برابر با $3/00 \times 10^8$ m/s در نظر می‌گیریم؛ چون تندی نور در خلأ بیشترین تندی ممکن است، ضریب شکست همواره بزرگ‌تر یا مساوی ۱ است (که ۱ مربوط به خلأ است). جدول ۴ـ۱ ضریب شکست برای چند مادهٔ مختلف را به‌دست می‌دهد. بنابراین برای دو محیط خاص ۱ و ۲، ضریب شکست‌ها به‌ترتیب $n_1 = c/v_1$ و $n_2 = c/v_2$ است که v_1 و v_2 تندی نور در آن دو محیط است. حال اگر پرتوی نوری از محیط ۱ با زاویهٔ تابش θ_1 وارد محیط ۲ شود و با زاویهٔ θ_2 شکست پیدا کند (شکل ۴ـ۱۸)، از قانون شکست عمومی (رابطهٔ ۴ـ۱) درمی‌یابیم:

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{c/n_2}{c/n_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

و یا

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \qquad (۴ـ۳)$$ (قانون شکست اسنل)

این رابطه را به افتخار فیزیک‌دان هلندی، **ویلبرد اسنل** (۱۶۲۶ـ۱۵۸۰م.) که آن را به‌طور تجربی کشف کرد، قانون شکست اسنل می‌نامند.

شکل ۴ـ۱۸ طرحی از بازتاب و شکست نور، در عبور یک پرتوی نور از محیطی شفاف به محیط شفافی دیگر

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

بخوانید و پاسخ دهید

① بیشترین تندی نور در چه محیطی است؟

② علامت $< = >$

$n_1 \square$ خلأ

$n_1 \square$ هر محیط شفاف به جز خلأ

③ قانون شکست عمومی

$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{c/n_2}{c/n_1} = \frac{n_1}{n_2}$

سؤال ۴

④ از قانون شکست عمومی به قانون شکست اسنل برسید.

در این طرح $\theta_1 = \theta_1$ زاویه تابش = زاویه بازتابش

θ_2 زاویه شکست (چون θ_2 از θ_1 کمتر است یعنی نور از محیط رقیق به غلیظ حرکت کرده است)

$n_1 \square n_2$

$v_1 \square v_2$

محیط ... غلیظ و محیط ... رقیق

$n_1 \square n_2$

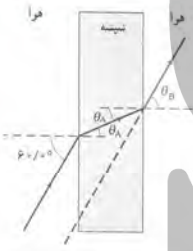
$v_1 \square v_2$

محیط ... غلیظ و محیط ... رقیق

عقیل اسکندری

مثال ۴ـ۲

پرتوی نوری مطابق شکل، از هوا بر تیغهٔ شیشه‌ای متوازی‌السطوحی، با زاویهٔ تابش $60/0^\circ$ فرود می‌آید. (الف) زاویهٔ شکست (θ_A) پرتو در شیشه چقدر است؟ ب) زاویه خروجی (θ_B) پرتو از شیشه چقدر است؟



پاسخ: برای ورود پرتوی نور از هوا به شیشه قانون شکست اسنل را به‌کار می‌بریم. با توجه به جدول ۴ـ۱ ضریب شکست هوا $n_1=1/00$ و ضریب شکست شیشه $n_2=1/52$ است.

$$n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2 \Rightarrow (1/00)(\sin 60/0^\circ) = (1/52)(\sin\theta_A)$$

$$\sin\theta_A = 0/5698 \Rightarrow \theta_A = 34/7^\circ$$

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

و برای خروج پرتوی نور از شیشه نیز دوباره قانون اسنل را به‌کار می‌بریم. توجه کنید که زاویهٔ تابش در اینجا برابر زاویهٔ شکست در شیشه است؛ یعنی $\theta_1=\theta_A$.

$$n_2\sin\theta_1 = n_1\sin\theta_2 \Rightarrow (1/52)(0/5698) = (1/00)(\sin\theta_B)$$

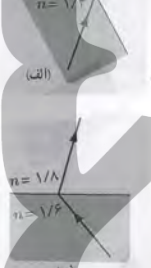
$$\sin\theta_B = 0/8661 \Rightarrow \theta_B = 60/0^\circ$$

البته با اندکی دقت و بدون محاسبه نیز می‌توانستید مقدار θ_B را بیابید.

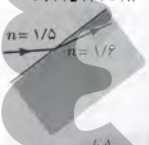
در تیغهٔ متوازی‌السطوح (با طول کافی) اگر محیط ورودی و خروجی مشابه باشند راستای پرتو نور ورودی و خروجی یکی است (ورود و خروج موازی)

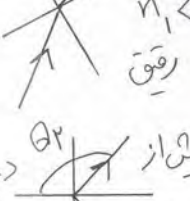
پرسش ۴ـ۳

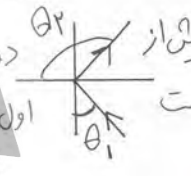
کدام‌یک از سه شکل زیر یک شکست را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟



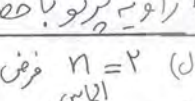
منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸







مثال) اگر پرتو نور بر سطح عمود باشد نمی‌شکند



(θ زاویه پرتو با خط عمود)

مثال) $n=2$ فرض شود الماس سرعت نور در الماس چند برابر سرعت نور در خلأ است؟

جواب = $\frac{1}{2}$

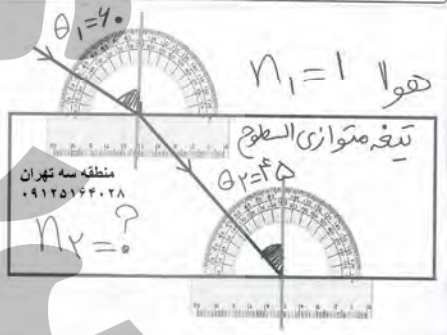
فعالیت ۴ـ۴

اندازه‌گیری ضریب شکست : با توجه به مثال ۴ـ۲، آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که به کمک آن بتوان ضریب شکست یک تیغهٔ متوازی‌السطوح شفاف را اندازه گرفت.

مطابق شکل با استفاده از دو نقاله به طور فرضی

$\theta_1 = 60^\circ$

$\theta_2 = 45^\circ$

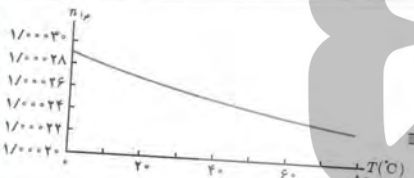


منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

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

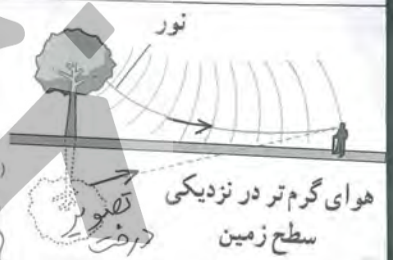
$1\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = n_2\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)$

$n_2 = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = \sqrt{1/5} = 1/2$



نمودار تغییرات ضریب شکست هوا با دما

اگر دما زیاد شود، چگالی هوا کم می‌شود، ضریب شکست کم می‌شود، n هوا به عدد یک نزدیک می‌گردد



هوای گرم‌تر در نزدیکی سطح زمین

مدل سازی پدیدهٔ سراب به کمک جبهه‌های نور

هوای غلیظ

هوای رقیق (سطح زمین گرم)

سراب: در روزهای گرم ممکن است برکهٔ آبی را در دوردست ببینید که بر سطح زمین قرار دارد، اما وقتی به آن محل می‌رسید، آنجا را خشک می‌یابید. به این پدیده سراب یا سراب آبگیر[1] می‌گویند و نه تنها می‌توان آن را دید، بلکه می‌توان از آن عکس هم گرفت (شکل ۴ـ۱۹).

در روزهای گرم هوای سطح زمین تقریباً داغ است. از طرفی، چگالی هوا با افزایش دما کاهش می‌یابد که این سبب کاهش ضریب شکست نیز می‌شود (شکل ۴ـ۲۰). در شکل ۴ـ۲۱ پدیدهٔ سراب را مبتنی بر جبهه‌های موج نشان داده‌ایم. برای توضیح این شکل، نخست جبهه‌های موجی را در نظر می‌گیریم که به طرف پایین می‌آیند. با پایین آمدن هر جبهه بیشتر پرتوهای نظیر این جبهه‌های موج، آنها با ضریب شکست‌های کوچک‌تر و کوچک‌تری روبه‌رو می‌شوند و در هر مرحله با دور شدن از خط عمود، بیشتر و بیشتر به سمت افق خم می‌شوند (شکل ۴ـ۲۲ الف). وقتی پرتوها در نزدیکی سطح زمین تقریباً افقی می‌شوند به سمت بالا خم برمی‌دارند. این خم شدن رو به بالا را می‌توان با استفاده از جبهه‌های موج توضیح داد. بخش پایینی هر جبههٔ موج در هوای کمی گرم‌تر قرار دارد و بنابراین کمی تندتر از بخش بالایی جبههٔ موج حرکت می‌کند و این تفاوت رفتار دو قسمت جبهه‌های موج، موجب خم شدن رو به بالای پرتوهای موج می‌شود، زیرا پرتوهای موج باید همواره عمود بر جبهه‌های موج باشند (شکل ۴ـ۲۲ ب). وقتی پرتوها رو به بالا می‌روند به خم‌شدن رو به بالای خود ادامه می‌دهند، زیرا اکنون مدام با محیط‌هایی با ضریب شکست‌های بزرگ و بزرگ‌تر مواجه می‌شوند و بنابراین در هر مرحله با نزدیک شدن به خط عمود، بیشتر و بیشتر رو به بالا خم می‌شوند (شکل ۴ـ۲۲ ب) اگر بخشی از این نور به چشم ما برسد، به نظر می‌آید که منشأ این نور از امتداد رو به عقب پرتوهایی است که به چشم ما رسیده‌اند و همان‌طور که در شکل ۴ـ۲۱ نشان داده شده است این حس را ایجاد می‌کند که گویی از سطح زمین آمده است.

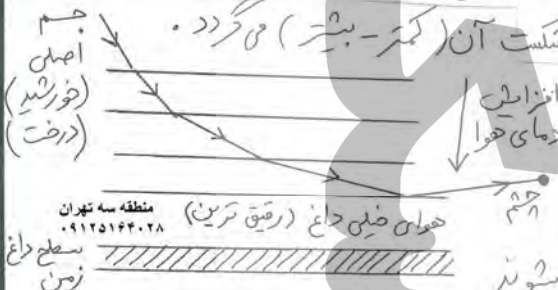
بخوانید و پاسخ دهید

(۱) پدیده سراب در روزهای (گرم ـ سرد) دیده می‌شود.

(۲) نام دیگر سراب (آبگیر ـ آبگرم)

(۳) (می‌توان ـ نمی‌توان) از سراب عکس گرفت

(۴) اگر هوا گرم شود (غلیظ‌تر ـ رقیق‌تر) می‌شود و ضریب شکست آن (کمتر ـ بیشتر) می‌گردد. (کاهش ضریب شکست)

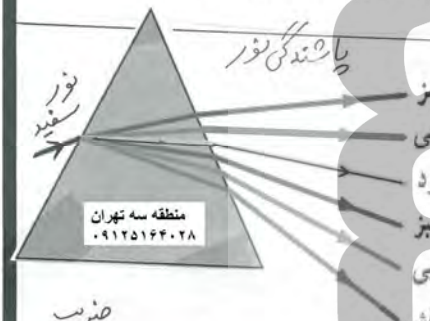


هر چه جبهه‌های موج به سطح زمین نزدیک‌تر شوند هوا رقیق‌تر و ضریب شکست کمتر و هنگام شکست شدن، بیشتر از خط عمود دور می‌شوند تا اینکه بالاخره در یک لایه خاص دیگر وارد محیط بعدی نمی‌شوند و کاملاً مانند بازتاب از یک آینه تخت، بازتاب می‌کنند

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

در H بازتاب رخ داده

شکل ۱۲_۱۲ الف) خمیدگی اغراق‌آمیز یک برتوی نور که در امتداد یک مرز فرضی از هوای گرم به سمت هوای گرم‌تر پایین می‌رود. ب) تغییر جبهه‌های موج و خمیدگی مربوط به آن، به این دلیل رخ می‌دهد که انتهای پایین جبهه‌های موج در هوای گرم‌تر سریع‌تر حرکت می‌کنند. پ) خمیدگی اغراق‌آمیز یک برتوی نور که در امتداد یک مرز فرضی از هوای گرم‌تر به سمت هوای گرم بالا می‌رود.



پاشندگی نور

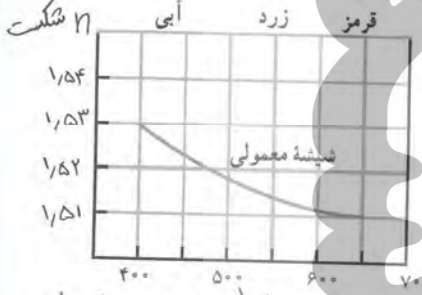
شکست

افزایش ضریب ۰

(افزایش انحراف)

(کاهش طول موج)

(رنگ نیلی را نگفته!)



مثال) در شیشه $n_{\text{قرمز}} = 1/51$ و $n_{\text{آبی}} = 1/53$ است تندی نور قرمز در شیشه چند برابر نور آبی است؟

$$\frac{v_{\text{ق}}}{v_{\text{آ}}} = \frac{n_{\text{آ}}}{n_{\text{ق}}} = \frac{1/53}{1/51}$$

این نمودار برای شیشه معمولی است یعنی جنس محیط موثر می‌باشد

(n زیاد شود ⟷ λ کم می‌شود)

بخوانید و پاسخ دهید

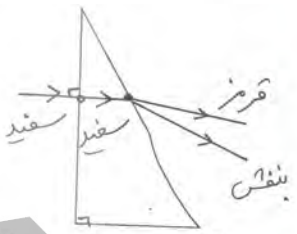
پاشندگی نور : همان‌طور که در علوم هشتم دیدیم وقتی باریکهٔ نور سفید خورشید به وجهی از یک منشور می‌تابد، در عبور از منشور به رنگ‌های مختلفی تجزیه می‌شود (شکل ۴ـ۲۳ الف). دلیل این پدیده آن است که ضریب شکست هر محیطی به‌جز خلأ به طول‌موج نور بستگی دارد؛ یعنی وقتی باریکهٔ نوری شامل پرتوهایی با طول‌موج‌های مختلف باشد، این پرتوها هنگام عبور از مرز دو محیط در زاویه‌های مختلفی شکسته می‌شوند. به این پخش‌شدگی نور، پاشندگی نور می‌گویند. عموماً ضریب شکست یک محیط معیّن برای طول‌موج‌های کوتاه‌تر، بیشتر است.

اگر باریکهٔ نور سفید از هوا بر یک سطح شیشه‌ای فرود آید بر اثر شکست نور، مؤلفه‌های سازندهٔ باریکهٔ نور سفید هر کدام به میزان متفاوتی خم می‌شوند که البته این تفاوت چندان محسوس نیست. برای افزایش جدایی رنگ‌ها در پاشندگی نور، معمولاً از یک منشور با سطح مقطع مثلثی استفاده می‌کنیم. پاشندگی ناچیز در سطح اول، سپس با پاشندگی در سطح دوم افزایش می‌یابد و مؤلفه‌های رنگی نور سفید به‌طور محسوسی از هم جدا می‌شوند

(۱) ضریب شکست رنگها در خلأ عدد ثابتی (است/نیست)

(۲) ضریب شکست هر محیط (به جز ---) به --- موج بستگی دارد و تقریباً می‌توان گفت در طول موج کوتاه‌تر، ضریب شکست --- است.

توجه: نور سفید خالص نیست و از رنگ‌های متفاوتی تشکیل شده است به وسیله منشور یا تیغه شیشه‌ای می‌توان آن را به اجزاء سازنده‌اش تجزیه نمود.

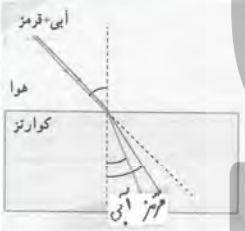


(نور به طرف قسمت ضخیم منشور کج می‌گردد و قرمز کمترین انحراف)

وقتی پرتو بر سطح عمود باشد نمی‌شکند

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

تمرین ۴ـ۴



شکل روبه‌رو باریکهٔ نوری متشکل از دو پرتوی قرمز و آبی را نشان می‌دهد که از هوا و با زاویهٔ تابش ۴۵° بر سطح تیغهٔ تختی از کوارتز می‌تابد. زاویه‌های شکست برای این دو پرتو را محاسبه کنید. ضریب شکست نورهای قرمز و آبی در کوارتز به‌ترتیب برابرند با $n_{قرمز} = 1/459$ و $n_{آبی} = 1/467$.

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \frac{\sin 45}{\sin\theta_{قرمز}} = \frac{1/459}{1} \rightarrow \sin\theta_{قرمز} = 0/481465$$

$$\theta_{قرمز} = 28/88^\circ$$

$$\frac{\sin 45}{\sin\theta_{آبی}} = \frac{1/467}{1} \rightarrow \sin\theta_{آبی} = 0/481200$$

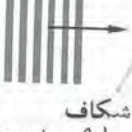
$$\theta_{آبی} = 28/87^\circ$$

۴ـ۳ پراش موج

اگر در مسیر پیشروی یک موج مانعی قرار دهیم بخشی از موج که به مانع برخورد می‌کند، توسط مانع بازتاب و یا جذب می‌شود و به پشت مانع نمی‌رسد و بخشی دیگر، از لبه‌های مانع یا شکاف‌های موجود در آن، می‌گذرد. در صورتی که ابعاد مانع یا شکاف در حدود طول‌موج باشد، بخشی از موج که از لبه‌ها یا شکاف‌ها عبور می‌کند، به‌وضوح به اطراف مانع یا شکاف گسترده می‌شود.

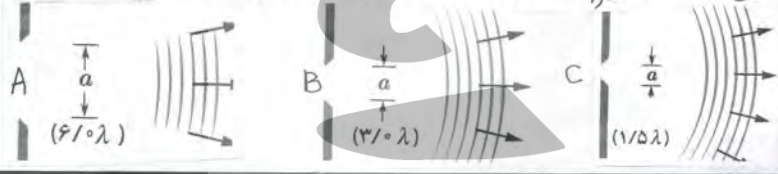
بخوانید

پاسخ دهید



موج پراشیده (پهنای شکاف) (چند برابر λ) (است؟)

وقتی موج به مانع می‌رسد قسمتی ..... و قسمتی ..... و قسمتی از لبه‌های مانع یا ..... می‌گذرد اگر ابعاد مانع یا شکاف در حدود ..... باشد پراش رخ می‌دهد هرچه دهانه شکاف به طول موج نزدیک‌تر شود پراش واضح‌تر



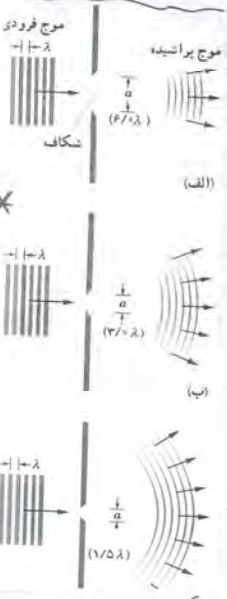
a پهنای شکاف است

$(a \approx 6\lambda)$ $a > \lambda$

قسمت زیادی از موج بصورت تخت می‌گذرد (پراش نامحسوس)

هرقدر $(a \to \lambda)$ موج عبوری از حالت تخت دور شده و پراش واضح‌تری گردد

شکل ۴ـ۲۵ وضعیت طرح‌واری را نشان می‌دهد که در آن موجی تخت با طول‌موج λ به مانعی می‌رسد که شکافی به پهنای a دارد. در شکل ۴ـ۲۵ الف، پهنای شکاف خیلی بزرگ‌تر از طول‌موج λ است $(a=۶۰\lambda)$. همان‌طور که دیده می‌شود قسمتی از موج که از شکاف می‌گذرد تقریباً تخت باقی می‌ماند. در شکل ۴ـ۲۵ ب، پهنای شکاف کمتر شده است $(a=۳/۰\lambda)$ و همان‌طور که می‌بینید قسمتی از موج که از شکاف می‌گذرد از حالت موج تخت خارج شده و نسبت به حالت قبل، مقدار بیشتری به اطراف گسترده شده است. در شکل ۴ـ۲۵ پ، که پهنای شکاف، $a=۱/۵\lambda$ شده است، قسمتی از موج که از شکاف می‌گذرد کاملاً از حالت موج تخت خارج و به اطراف شکاف گسترده شده است. به این پدیده که موج در عبور از یک شکاف یا پهنایی از مرتبهٔ طول‌موج، به اطراف گسترده می‌شود، پراش می‌گویند. پراش فقط به وضعیت عبور موج از یک شکاف باریک (یا روزنه) محدود نمی‌شود بلکه هنگام عبور موج از لبه‌های مانعی که ابعاد آن در حدود طول‌موج موج باشد نیز رخ می‌دهد. پراش برای همهٔ انواع موج اتفاق می‌افتد. برای مثال شکل ۴ـ۲۶. پراش امواج تخت را روی سطح آب در یک تشت موج، هنگام عبور امواج از یک شکاف باریک نشان می‌دهد.



البته پراش در واقع جزئی فراتر از صرفاً یک گستردگی بیشتر موج است و مثلاً اگر پراش نوری تکفام از یک شکاف باریک یا لبه‌ای تیز را روی یک پرده ملاحظه کنیم، همواره نوارهای تاریک و روشنی موسوم به نقش پراش را موازی با لبه‌های شکاف مشاهده می‌کنیم. شکل ۴ـ۲۷، نقش پراش نوری تکفام از لبه‌های تیز درون و بیرون یک تیغ را نشان می‌دهد. تحلیل نقش پراش مبتنی بر بحث تداخل امواج است. تداخل امواج را در بخش بعد می‌آموزیم.

شکل‌های خیلی مهم

شکل ۴ـ۲۶ پراش امواج تخت هنگام عبور از شکافی باریک در تشت موج

شکل ۴ـ۲۷ پراش نوری تکفام که از لبه‌های تیز درون و بیرون یک تیغ ایجاد شده است.

پاسخ دهید :

$a = 6\lambda \longrightarrow$

$a = 1\lambda \longrightarrow$

① پراش یعنی موج درعبور از یک ـــــ با پهنائی ازمرتبهٔ ـــــ به اطراف گسترده شود.

② پراش هنگام عبور نور از ..... یا ..... یا لبه‌های مانعی که ابعاد آن درحدود ـــــ موج باشد رخ می دهد.

③ پراش فقط گستردگی موج بعداز مانع (است / نیست)

④ پراش یک نور تک فام از ـــــ یا لبه تیز روی پرده همواره با تولید نوارهای ـــــ و ـــــ موسوم به ـــــ که موازی با ـــــ است همراه است

⑤ تحلیل نقش پراش مبتنی بر مبحث ـــــ امواج است.

پرسش ۴ـ۴

در تلویزیون‌های متداول، سیگنال‌ها از آنتن‌های رونی دکل‌ها به گیرنده‌های تلویزیون فرستاده می‌شود. حتی 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 (اگر سیگنال در اطراف آن مانع به حد کافی به داخل «ناحیهٔ سایه» مانع پراشیده شود). سابق بر این، طول موج سیگنال‌های تلویزیونی در حدود ۵۰ cm بود، ولی طول‌موج سیگنال‌های تلویزیونی دیجیتالی که امروزه از آنتن‌ها فرستاده می‌شود بسیار کمتر است. آیا این تغییر طول‌موج، پراش سیگنال‌ها به داخل ناحیهٔ سایه را افزایش می‌دهد یا کاهش؟

در حالت قدیم طول موج به طول مانع نزدیکتر است و پراش بیشتر است و موج فضای بیشتری

تلویزیون قدیمی $\lambda = 50\,cm \longrightarrow$ سایه پشت مانع کم‌تر بود

تلویزیون دیجیتال $\lambda \ll 50\,cm \longrightarrow$ سایه پشت مانع خیلی زیاد است

از پشت مانع را پوشش می دهد (سایه کمتر)

چند مثال از تداخل →

۴ـ۴ تداخل امواج (براساس اصل برهم‌نهی امواج)

وقتی در تالاری به نوای موسیقی گوش می‌دهید، امواج صوتی حاصل از سازهای مختلف به‌طور هم‌زمان به گوشتان می‌رسد. الکترون‌ها در آنتن گیرنده‌های رادیو و تلویزیون تحت تأثیر هم‌زمان امواج الکترومغناطیسی زیادی که از فرستنده‌های مختلف ارسال می‌شوند، به حرکت می‌افتند. آب یک دریاچه یا بندرگاه ممکن است بر اثر تأثیر هم‌زمان موج‌هایی که به دنبال تعداد زیادی قایق در حال حرکت به‌راه می‌افتند، متلاطم شود. اینها همگی نمونه‌هایی از اصل برهم‌نهی امواج هستند که بیان می‌دارد وقتی چندین موج به‌طور هم‌زمان بر ناحیه‌ای از فضا تأثیر بگذارند، اثر خالص آنها برابر مجموع اثرهای مجزای هر یک از آنها است.

تعریف اصل برهم‌نهی امواج →

شکل ۴ـ۲۸، عکس‌های دو تپ را که در جهت‌های مخالف هم در یک ریسمان کشیده شده، حرکت می‌کنند در چند لحظهٔ متوالی نشان می‌دهد. وقتی این تپ‌ها به هم می‌رسند و با یکدیگر همپوشانی می‌کنند، بنا بر اصل برهم‌نهی، تپ برایند یا مجموع دو تپ برابر است. توجه کنید چه برای تپ‌ها و چه برای موج‌هایی که همپوشانی می‌کنند، آنها به هیچ وجه شکل و حرکت یکدیگر را تغییر نمی‌دهند، و بنابراین پس از همپوشانی، بدون هرگونه تغییر شکلی به حرکت خود ادامه می‌دهند. به ترکیب موج‌ها با یکدیگر، تداخل می‌گویند. به بیان دیگر تداخل، ترکیب دو یا چند موج است که هم‌زمان از یک منطقه عبور می‌کنند. در شکل ۴ـ ۲۸ الف، تپ‌ها هنگام همپوشانی تپ بزرگ‌تری را ایجاد کرده‌اند که به آن تداخل سازنده می‌گویند، در حالی که در شکل ۴ـ۲۸ ب، تپ‌ها هنگام همپوشانی اثر یکدیگر را حذف کرده‌اند که به آن تداخل ویرانگر می‌گویند. تداخل‌های سازنده و ویرانگر برای موج‌ها نیز همچون تپ‌ها رخ می‌دهد که آن را در قسمت‌های بعدی بررسی خواهیم کرد.

بخوانید و پاسخ دهید

① بنا بر اصل ..... ، تپ برایند با ..... دو تپ برابر است

② هنگام تداخل در لحظهٔ همپوشانی ..... ها و ..... ها { (به هیچ وجه) شکل و حرکت یکدیگر را (الزاماً) } { تغییر نمی‌دهند / تغییر می‌دهند }

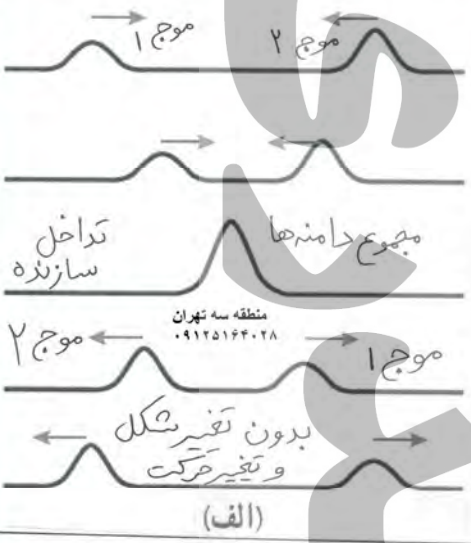
بنا براین پس از همپوشانی .....

تداخل :

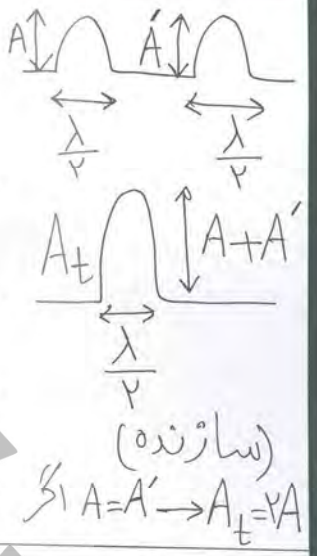
تداخل سازنده :

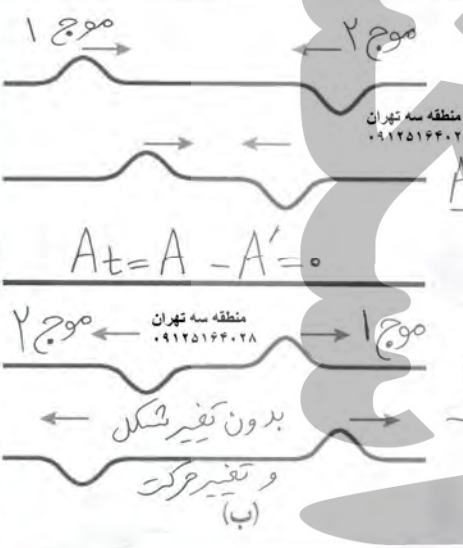
تداخل ویرانگر :

تداخل‌ها هم برای تپ و هم برای موج رخ می‌دهند

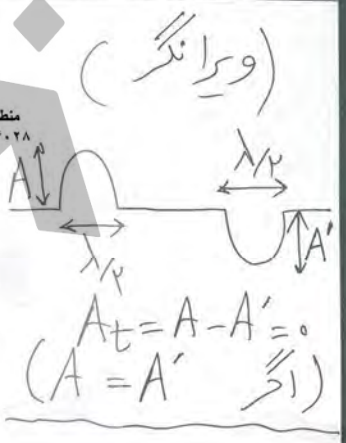

موج ۱
موج ۲
تداخل سازنده
مجموع دامنه‌ها
منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸
موج ۲
موج ۱
بدون تغییر شکل و تغییر حرکت

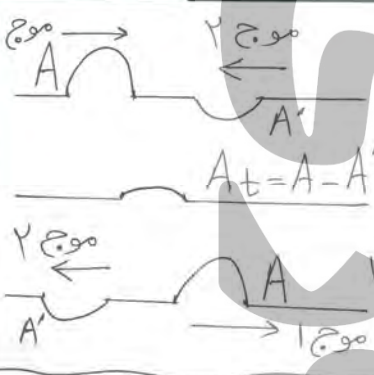
(الف)


A
A'
λ/۲
λ/۲
A_t
A+A'
λ/۲
(سازنده)
اگر A=A' → A_t=۲A


موج ۱
موج ۲
منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸
A_t=A-A'=۰
موج ۲
موج ۱
منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸
بدون تغییر شکل و تغییر حرکت

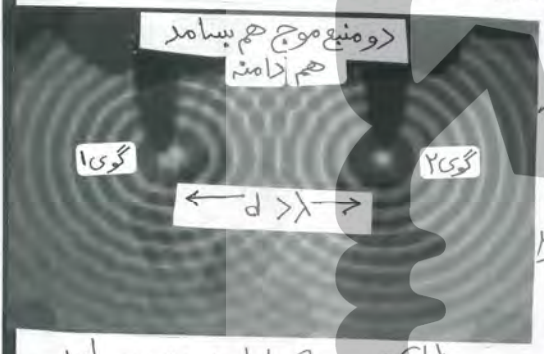
(ب)


(ویرانگر)
A
λ/۲
λ/۲
A'
A_t=A-A'=۰
(اگر A=A')



حالتی که تداخل ویرانگر است و دامنه‌ها برابر نیستند. در لحظهٔ تداخل دامنهٔ جواب با تفاضل دامنه‌ها برابر می‌گردد

تداخل امواج سطحی آب: برای مشاهدهٔ تداخل امواج سطحی بر سطح آب، دو گوی کوچک را با بسامد یکسان، به‌طور هم‌زمان بر سطح آب به نوسان درمی‌آوریم. دو دسته موج دایره‌ای ایجاد می‌شود که بی‌آنکه بر انتشار یکدیگر تأثیر بگذارند با یکدیگر همپوشانی می‌کنند و نقشی مانند نقش شکل ۴ـ۲۹ را بر سطح آب به‌وجود می‌آورند. امواج در برخی نقاط همدیگر را تقویت می‌کنند و تداخل سازنده انجام می‌دهند و در برخی نقاط همدیگر را تضعیف می‌کنند و تداخل ویرانگر انجام می‌دهند. به عبارتی، برآمدگی‌ها یا فرورفتگی‌های دو موج که در یک زمان در نقطه‌ای به همدیگر برسند، سطح آب را در آن نقطه به‌شدت بالا یا پایین می‌برند، در



بخوانید و پاسخ دهید

(۱) اگر یک گوی کوچک با بسامد معین روی آب ضربه بزند چه موجی تولید می‌شود؟

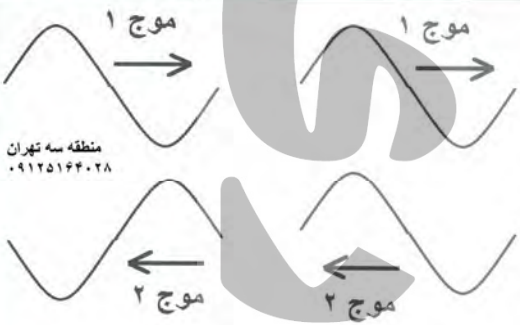
(۲) اگر دو گوی کوچک و مشابه با بسامد معین روی آب ضربه بزنند چه پیش می‌آید؟

(۳) چه موقع تداخل در سؤال ۲ سازنده و چه موقع ویرانگر می‌گردد؟

توجه: شرط این پدیده این است که فاصله دو منبع از طول موج بزرگ‌تر باشد

نقشه موج

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

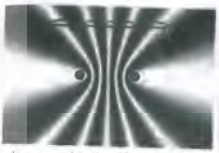


منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

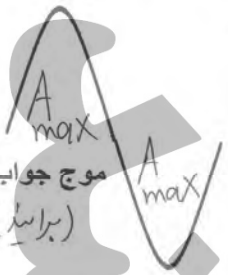
max و max
سازنده روشن

max و min
ویرانگر تاریک

min و min
سازنده روشن



شکل ۴ـ۳۵ طرحی از نواحی پیشینه‌ها و کمینه‌های یک نقش تداخلی حاصل از امواج سطحی آب. نمودار آبی‌رنگ، دامنهٔ موج برایند است که همان‌طور که می‌بینیم در نواحی با تداخل سازنده (نواحی کاملاً روشن) پیشینه و در نواحی با تداخل ویرانگر (نواحی کاملاً تیره) کمینه است.



Amin

موج جواب (برایند)

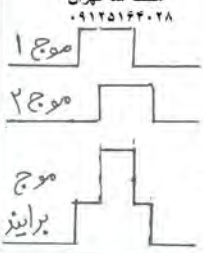
موج جواب (برایند)

تداخل سازنده

تداخل ویرانگر

اگر برآمدگی یک موج در یک زمان و در یک نقطه به فرورفتگی موج دیگر برسد، دو موج یکدیگر را تضعیف می‌کنند و بنابراین سطح آب در چنین نقطه‌ای نوسان چندانی نخواهد داشت. به این ترتیب، در برخی نواحی روی سطح آب دامنهٔ موج برایند بیشینه و در برخی ناحیه‌ها، کمینه است. چنین نقش متناوب یک‌درمیانی از بیشینه‌ها و کمینه‌ها را نقش تداخلی امواج سطحی آب می‌نامیم و آنها را به‌وضوح می‌توانیم در سایهٔ تشکیل شده بر سطح ورقهٔ کاغذ زیر تشت موج مشاهده کنیم.

تداخل همواره رخ می‌دهد (تداخل سازنده و ویرانگر) هم در طناب که کاملاً کشیده باشد هم در سطح آب (تشت موج) هم برای امواج صوتی



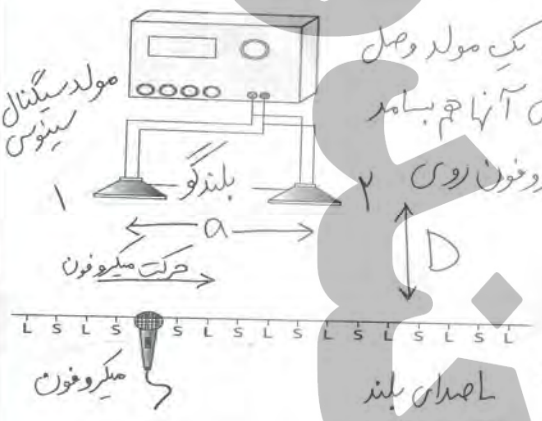
مثال: طرح تداخلی دو موج ۱ و ۲ رسم شده است

و هم برای امواج نور (آزمایش یانگ)

تداخل امواج صوتی: امواج صوتی نیز می‌توانند تداخل کنند. به این منظور، آزمایش نشان داده شده در شکل ۴ـ۳۱ را در نظر بگیرید. در این آزمایش دو بلندگو که به یک مولّد سیگنال الکتریکی متصل‌اند امواج سینوسی هم‌بسامدی را در فضا منتشر می‌کنند. با حرکت دادن میکروفون در امتداد خط فرضی نشان داده شده در شکل که در فاصلهٔ مناسبی از بلندگوها قرار دارد درمی‌یابیم که بلندی صدا به‌طور متناوب کم و زیاد می‌شود. علت این پدیده را به‌سادگی می‌توان براساس تداخل‌های سازنده و ویرانگر امواج صوتی توضیح داد. (چگونه؟)

امواج صوتی
□ تداخل می کنند
□ تداخل نمی کنند

آزمایشی طراحی کنید که ثابت کند امواج صوتی تداخل می کنند.



چون هر دو بلندگو به یک مولد وصل هستند پس صدای آنها هم بسامد است با حرکت میکروفون روی خط داده شده بطور تقریبی چنین طرحی خواهیم داشت

منبع ۲
منبع ۱
L صدای بلند
S صدای کوتاه

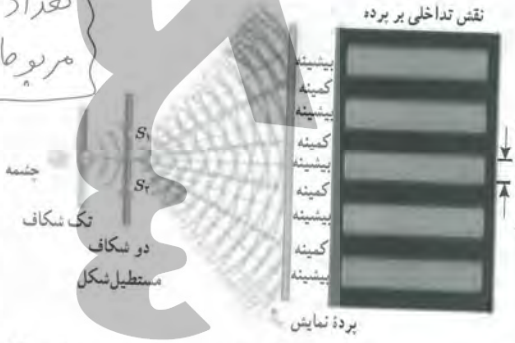
تداخل سازنده
L صدای بلند
منبع ۲
منبع ۱

تداخل ویرانگر
S صدای کوتاه

* به چگونگی اتصال بلندگوها به منبع دقت کنید (موازی)
* فاصله دو منبع از هم (a) و فاصله محل میکروفون از منبع‌ها (D) و طول موج صوت (λ) مهم است

تداخل امواج نوری : در سال ۱۸۰۱ میلادی توماس یانگ (۱۸۲۹ـ۱۷۷۳ م.) دانشمند انگلیسی به‌طور تجربی ثابت کرد نور یک موج است که این بر خلاف نظر بیشتر فیزیک‌دانان آن زمان بود. در واقع او نشان داد که نور نیز مانند موج‌های سطحی آب، موج‌های صوتی و همهٔ انواع موج‌های دیگر تداخل می‌کند.

شکل ۴ـ۳۲، طرحی از چگونگی آزمایش اولیهٔ یانگ برای تحقیق تداخل امواج نوری را نشان می‌دهد. نور حاصل از یک چشمهٔ تکفام (اینجا سبزرنگ) بر تک‌شکافی می‌تابد. سپس نور خروجی بر اثر پراش، گسترده می‌شود و دو شکاف S_1 و S_2 را روشن می‌کند. موج‌های حاصل از پراش نور توسط این دو شکاف با یکدیگر تداخل می‌کنند و نقش حاصل از این تداخل را می‌توان روی پرده‌ای که در ناحیهٔ سمت راست دو شکاف قرار دارد مشاهده کرد. روی پرده، نقطه‌های با تداخل سازنده، نوارها یا فریزهای[1] روشن را تشکیل می‌دهند (شکل ۴ـ۳۳ الف)، و نقطه‌های با تداخل ویرانگر نوارها یا فریزهای تاریک را تشکیل می‌دهند (شکل ۴ـ۳۳ ب) که می‌توان آنها را بین نوارهای روشن مجاور شکل ۴ـ۳۲ مشاهده کرد. نقش



بخوانید و پاسخ دهید

① یانگ دانشمندی از انگلیس ☐ چین ☐ بود

② یانگ از طریق آزمایش ☐ تجربه ☐ ثابت کرد نور موج ☐ ذره ☐ ذره و موج ☐ است

③ نور تداخل می‌کند ☐ تداخل نمی‌کند ☐

④ هر موجی تداخل می‌کند ☐ تداخل نمی‌کند ☐

⑤ نظر یانگ موافق ☐ مخالف ☐ تعداد زیادی از نظرات مربوط به ماهیت نور بود

بخوانید و پاسخ دهید

① چشمه نور تک‌فام یعنی .....

② برای نور در تیغه تک شکافی چه پدیده‌ای رخ می‌دهد؟

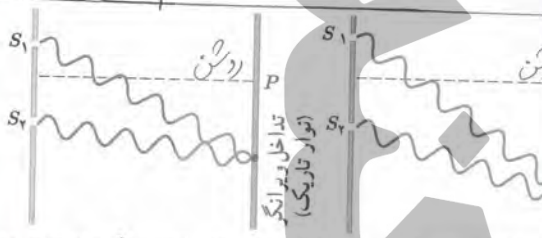
③ برای نور در تیغه دو شکافی چه پدیده‌ای رخ می‌دهد؟

(۴) علت گسترش نور پس از خروج از دو شکاف پدیده ---- و علت ایجاد فریزهای (---- های) روشن و تاریک ---- امواج است (۵) نقاط بیشینه یا تداخل ---- یا فریز های ---- یا نوارهای ---- (۶) نقاط کمینه یا تداخل ---- یا فریزهای ---- یا نوارهای ----

دو شکاف

تک شکاف

فریز : تاریک یا روشن P (مرکز)



نوارهای روشن و تاریک روی پرده که ناشی از تداخل‌های سازنده و ویرانگرند، نقش تداخلی خوانده می‌شود. طرحی از این نقش در سمت راست شکل ۴ـ۳۲، برای نور تکفام سبز نشان داده شده است. در این نقش بهنای هر نوار تاریک یا روشن (که مساوی فرض می‌شوند) متناسب با طول‌موج نور به‌کار رفته در آزمایش است. با استفاده از آزمایش یانگ می‌توان طول‌موج نور به‌کار رفته در آزمایش را تعیین کرد که در اینجا به آن نمی‌پردازیم.

منظور از نقش تداخلی چیست؟

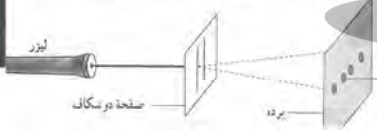
برای نور تک فام بهنای نوار تاریک و روشن تقریباً با هم مساوی است و با ..... متناسب است

فعالیت ۴ـ۵

مشاهدهٔ نقش تداخلی به کمک نور لیزر : اگر از نور لیزر استفاده کنیم، دیگر نیازی به استفاده از یک تک‌شکاف در آزمایش یانگ نیست. با استفاده از یک لیزر مدادی، صفحهٔ دو شکاف آزمایش یانگ را مطابق شکل روشن کنید (شاید لازم باشد از یک عدسی واگرا در برابر نور لیزر استفاده کنید تا هر دو شکاف روشن شود) و نقش تداخلی ایجادشده را روی پرده مشاهده کنید. برای تهیهٔ صفحهٔ دو شکاف می‌توانید یک وجه تیغه‌ای شیشه‌ای (مانند لام میکروسکوپ) را با قرار دادن تیغه روی شعلهٔ شمع به‌خوبی دوداندود کنید، سپس با تیغ تیزی دو خط نزدیک به هم (با فاصلهٔ چند دهم میلی‌متر از یکدیگر) روی تیغهٔ شیشه‌ای بکشید.

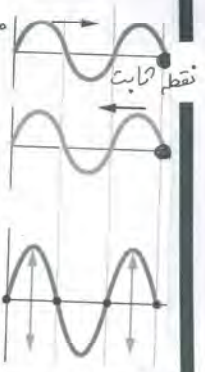
چگونه می‌توان آزمایش یانگ را با دو تیغه تک شکافی انجام داد؟

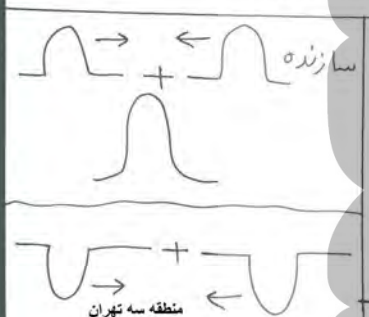
یک روش ساختن تیغه دو شکافی؟

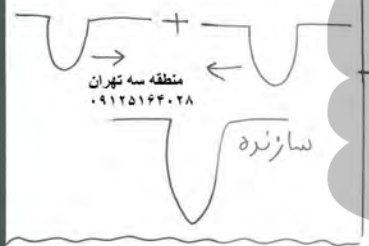


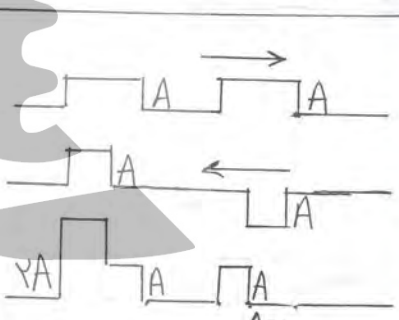
موج ایستاده و تشدید در ریسمان کشیده : ریسمانی را تصور کنید که در یک انتها ثابت شده است و انتهای دیگر آن به نوسان درمی‌آید. وقتی موج بازتابیده از انتهای ثابت (که در شکل ۴ـ۳۴ با رنگ آبی مشخص شده است و به سمت چپ حرکت می کند) با موج تابیده (که در شکل ۴ـ۳۴ با رنگ سبز مشخص شده است و به سمت راست حرکت می کند) ترکیب شوند موجی برایند ایجاد می کنند که شکل آن از اصل برهم‌نهی حاصل می‌شود (این موج در شکل ۴ـ۳۴ با رنگ قرمز مشخص شده است). مشخصهٔ بارز این موج برایند آن است که مکان‌هایی در طول ریسمان، موسوم به گره، وجود دارد که در آنها ریسمان هرگز حرکت نمی‌کند. وسط گره‌های مجاور را شکم می‌گویند که دامنهٔ موج برایند در آنجا بیشینه است. نقش موج برایند را در این حالت، موج ایستاده می‌گویند، زیرا نقش‌های این موج به جب

بخوانید و پاسخ دهید
① اگر موج در یک "تار کشیده از انتهای ثابت بازتابیده شود
موج برایند طبق اصل ——— مشخص خواهد شد.
② گره به چه نقاطی گفته می‌شود؟ ③ شکم به چه نقاطی گفته می‌شود؟
④ منظور از موج ایستاده (ساکن) چیست؟
⑤ دامنه گره =
دامنه شکم =



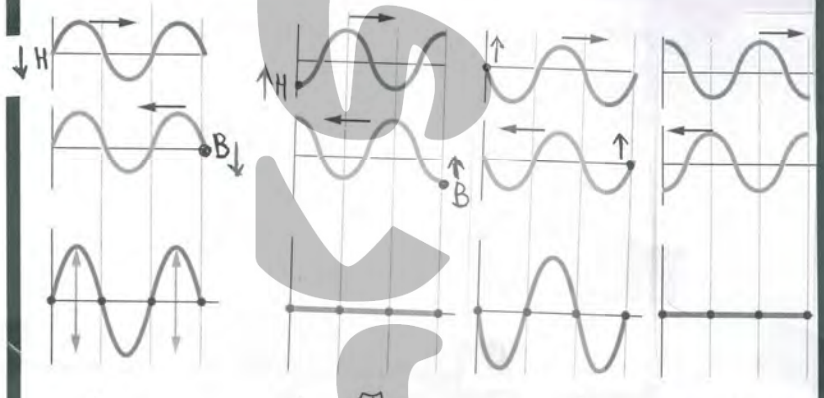






منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

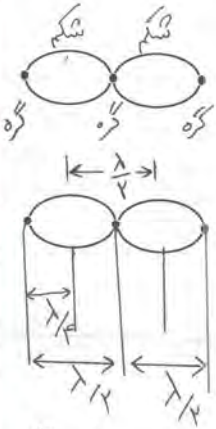
ویرانگر



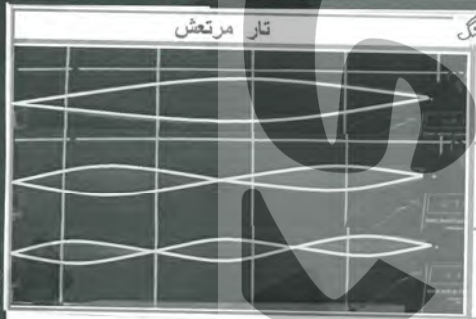
منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

یا راست حرکت نمی‌کنند و محل شکم‌ها و گره‌ها تغییر نمی‌کند. شکل ۴ـ۳۴، چند عکس در لحظه‌های مختلف از موج‌های تابیده، بازتابیده، و موج برایند آنها را نشان می‌دهد. از روی شکل درمی‌یابیم که فاصلهٔ گره‌های مجاور از هم برابر با نصف طول‌موج (λ/۲) و بنابراین فاصلهٔ گره‌ها از شکم‌های مجاور برابر با ربع طول‌موج (λ/۴) است. شکل ۴ـ۳۵، طرحی از موج ایستاده در این ریسمان را نشان می‌دهد که در آن حالت‌های مختلف ریسمان در لحظات مختلف شکل ۴ـ۳۴ دیده می‌شود.

اگر در شکل ۴ـ۳۴ به موج‌های تابیده و بازتابیده در مکان گره‌ها و در لحظه‌های مختلف نگاه کنیم، می‌بینیم که در تمام لحظات وضعیت موج‌های تابیده و بازتابیده در هر یک از گره‌ها به گونه‌ای است که یکدیگر را حذف و اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند (تداخل ویرانگر). در این حالت اصطلاحاً می‌گوییم این دو موج در این نقطه‌ها (گره‌ها) کاملاً ناهم‌فاز (در فاز مخالف) اند، اما در مکان هر یک از شکم‌ها وضعیت موج‌های تابیده و بازتابیده در تمام لحظات به گونه‌ای است که همدیگر را تقویت می‌کنند (تداخل سازنده). در این حالت اصطلاحاً می‌گوییم این دو موج در این نقاط هم‌فازند.



پسامدهای تشدید تار : شکل ۴ـ۳۶ تصویری واقعی از سیاب آزمایشی را نشان می‌دهد که در آن تاری کشیده شده، از یک سر به یک مولد نوسان و از سر دیگر به گیره‌ای متصل است. به ازای پسامدهای معیّنی از مولّد نوسان، تداخل موجب ایجاد موج ایستادهٔ بازرّی (یا اصطلاحاً یک *مد نوسان*) در تار می‌شود. گفته می‌شود تار در این پسامدهای معیّن که پسامدهای تشدیدی خوانده می‌شوند به تشدید درآمده است. اگر تار در پسامدی غیر از پسامدهای تشدیدی نوسان کند موج ایستادهٔ بازرّی ایجاد نمی‌شود.



گره	شکم	هماهنگ
۲	۱	۱ اصلی
۳	۲	۲
۴	۳	۳

$f = \frac{nV}{2L}$

$L = n\frac{\lambda}{2}$

مُد = شکم = n (هماهنگ)

۱ + شکم = گره

$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{FL}{m}} = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$

F نیروی کشش تار * ρ چگالی تار * A سطح مقطع تار

m جرم تار * L طول تار * $\mu = \frac{m}{L}$ چگالی خطی

مثال) چه رابطه‌ای بین چگالی جسم و چگالی خطی یک سیم همگن وجود دارد؟

$\rho = \frac{m}{V}$ و $\mu = \frac{m}{L}$

$m = \rho V = \rho AL$ و $m = \mu L \rightarrow \rho AL = \mu L$

V حجم استوانه $= AL$

$\boxed{\rho A = \mu}$

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

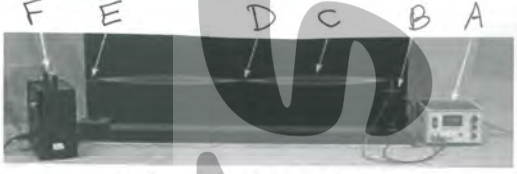
مثال) چگالی سیمی که از دو طرف بسته است $8\ g/cm^3$ و قطر مقطع آن $2mm$ و $n=3$ و در آن مقطع دو گره آن هم به فاصله $50\ cm$ وجود دارد و فرکانس 600 هرتز ایجاد می‌شود. نیروی کشش تار چند نیوتون است؟

$f = \frac{nV}{2L} \rightarrow 600 = \frac{3V}{2(0.5)} \rightarrow V = 600$ و $V = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$

$A = \pi r^2 = 3(1\times10^{-3})^2 = 3\times10^{-6}\ m^2 \rightarrow F = V^2 \rho A$

$F = 36\times10^4 \times 8000 \times 3 \times 10^{-6}$

$F = 8640\ N$



شکل ۴ـ۳۶ اسباب آزمایشی برای ایجاد موج ایستاده در تار کشیده. توجه کنید سری که به مولد نوسان متصل است، تقریباً در محل گره واقع است.

توجه کنید که اگرچه در این آزمایش از یک نوسان‌ساز الکتریکی برای ایجاد ارتعاش در تار استفاده کردیم، اما در سازهای موسیقی، موج‌های ایستاده را می‌توان با ضربه زدن بر تارها (مانند سنتور، سه‌تار، بیانو) و پوسته‌ها (مانند طبل، دف، تنبک)، و یا دمیدن در ستون‌های هوا (مانند نی، فلوت، اُرگ) ایجاد کرد.

در آزمایش نشان داده شده در شکل ۴ـ۳۶، و در بسامدهای تشدیدی تار، ساده‌ترین نقش موج ایستاده فقط یک شکم دارد که در مرکز ریسمان واقع است (شکل ۴ـ۳۷ الف). نقش سادهٔ بعدی وضعیتی است که سه گره و دو شکم داریم (شکل ۴ـ۳۷ ب). نقش سوم، چهار گره و سه شکم دارد (شکل ۴ـ۳۷ پ). در حالت کلی اگر طول این تار را با L نشان دهیم برای نقش موج ایستاده‌ای با

A = نوسان ساز الکتریکی
B = مولد نوسان
C = شکم
D = گره
E = انتهای ثابت تار
F = فلاشر

پاسخ دهید:
در یک تار فقط از روش نوسان کننده الکتریکی موج ایستاده قابل تولیدات . درست □ غلط □
چند نمونه از انواع ساز ← زهی (تارها) ← پوستی ← دمی
درست □
در تار ، هر بسامدی ایجاد کنیم تشدید رخ می دهد. غلط □
در بسامدهای تشدیدی ، ساده‌ترین نقش موج داران چند شکم و چند گره است ؟ شکم = ... و گره = ...
مثال : درحالتی که ..... شکم و ۵ گره داریم :

$L = (\quad)\frac{\lambda}{2}$
$f = (\quad)\frac{v}{2L}$
$n =$ مد = هماهنگ و

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

و در نتیجه :

$$L = n\left(\frac{\lambda_n}{2}\right)$$

(۴ـ۴) (طول‌موج‌های تشدیدی تار) $\lambda_n = \frac{2L}{n}$ ، $n = 1, 2, 3, \ldots$

بنابراین بسامدهای تشدیدی متناظر با این طول‌موج‌ها چنین می‌شود :

(۴ـ۵) (بسامدهای تشدیدی تار) $f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L}$ ، $n = 1, 2, 3, \ldots$

مدهای نوسان را با بسامدهای تشدیدی مشخص می‌کنند. پایین‌ترین بسامد را که مربوط به $n = 1$ است، *بسامد اصلی* و مد مربوط به آن را *مد اصلی* یا *هماهنگ اول* می‌گویند. بسامد هماهنگ دوم به‌ازای $n = 2$، بسامد هماهنگ سوم به‌ازای $n = 3$ و ... به‌دست می‌آید و به n عدد هماهنگ گفته می‌شود.

توجه : در یک تار معین L ثابت است با افزایش تعداد گره‌ها ، تعداد شکم‌ها ..... می‌شود و طول موج ..... می‌شود و فرکانس ..... می‌شود

مثال ۴ـ۳

طول یکی از تارهای پیانویی $1/1 \times 10^{-1}\,m$ و جرم آن $9/0 \times 10^{-2}\,g$ است. اگر بسامد اصلی این تار ۱۳۱Hz باشد، الف) تندی انتشار موج عرضی در تار چقدر است؟ ب) این تار تحت چه کشش قرار دارد؟ پ) بسامدهای چهار هماهنگ نخست این تار چقدر است؟

پاسخ : الف) با استفاده از رابطه ۴ـ۵ داریم :

$$f_n = \frac{nv}{2L} \Rightarrow (131\,Hz) = \frac{(1)v}{(2)(1/1 \times 10^{-1}\,m)} \Rightarrow v = 288/2\,m/s = 288\,m/s$$

ب) از رابطهٔ $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F}{m/L}}$ استفاده می‌کنیم.

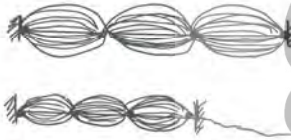
$$v = \sqrt{\frac{FL}{m}} \Rightarrow (288/2\,m/s) = \sqrt{\frac{F(1/1 \times 10^{-1}\,m)}{(9/0 \times 10^{-2} \times 10^{-3}\,kg)}} \Rightarrow F = 67916/6\,N \approx 68 \times 10^{3}\,N$$

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

پ) بدیهی است که بسامد هماهنگ اول همان بسامد اصلی است و بنابراین $f_1 = 131\,Hz$. بسامد هماهنگ‌های بعدی طبق رابطهٔ ۴ـ۵، به‌ازای $n = 2$، $n = 3$، و $n = 4$ به‌دست می‌آید و بنابراین $f_2 = 2f_1 = 262\,Hz$ ، $f_3 = 3f_1 = 393\,Hz$ و $f_4 = 4f_1 = 524\,Hz$.

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

مثال) سیمی با نیروی کشش F در وضعیت ① هماهنگ سوم را تولید می‌کند ، محل اتصال سمت راست را به اندازه $\frac{\lambda_1}{2}$ به سمت چپ می‌برم و طوری نیروی کشش را تغییر می‌دهم که باز هم هماهنگ سوم را در همان بسامد تولید می‌کند . نیروی کشش چند برابر شده است؟



$L_2 = \frac{2}{3}L_1 \rightarrow \lambda_2 = \frac{2}{3}\lambda_1$

عقیل اسکندری

تمرین ۴ـ۵

سنگین‌ترین تار یک گیتار الکتریکی دارای چگالی خطی جرمی $5/28\times10^{-3}\ kg/m$ است و تحت کشش ۲۲۶ N قرار دارد. این تار در هنگام ارتعاش، تُنی با بسامد ۱۶۴/۸ Hz را ایجاد می‌کند که بسامد اصلی تار است. الف) طول تار را به‌دست آورید. ب) پس از مدتی که یک نوازنده، این گیتار را می‌نوازد، در نتیجهٔ گرم شدن و شُل شدنِ تارها، نیروی کشش تار مورد نظر کاهش می‌یابد و به ۲۰۹ N می‌رسد. در این حالت بسامد اصلی این تار چقدر شده است؟

نُت اصلی $\rightarrow n=1 \rightarrow$ شکم $=1$

(الف)

$$v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}=\sqrt{\frac{۲۲۶}{۵/۲۸\times۱۰^{-۳}}}=۲۰۶/۸۸\ m/s$$

$$f=\frac{nv}{۲L} \rightarrow ۱۶۴/۸=\frac{۱(۲۰۶/۸۸)}{۲L}$$

$$L=\frac{۲۰۶/۸۸}{۲(۱۶۴/۸)}=۰/۶۲۷\ m$$

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

(ب)

$$v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}=\sqrt{\frac{۲۰۹}{۵/۲۸\times۱۰^{-۳}}}=۱۹۸/۹۵\ m/s$$

$$f=\frac{nv}{۲L}=\frac{(۱)(۱۹۸/۹۵)}{۲(۰/۶۲۷)}=۱۵۸/۶۵\ Hz$$

وقتی F کم شود (سیم شل‌تر می‌شود)
تندی موج عرضی در سیم کم می‌شود و فرکانس اصلی کم می‌گردد

مثال) گرما چه تأثیری در سرعت (تندی) موج عرضی در سیم دارد؟

گرما ← کاهش F ← شل شدن ← کاهش تندی موج

عقیل اسکندری

پرسش ۴ـ۵

الف) چرا با سفت کردن سیم گیتار، بسامدی که هنگام نواختن می‌شنوید زیاد می‌شود؟

ب) چرا نوازندگان گیتار پیش از نواختن روی صحنهٔ نمایش، گیتار را به حد کافی می‌نوازند و سپس آن را مجدداً کوک می‌کنند؟

الف) سفت کردن سیم ← افزایش کشش ← افزایش تندی

$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ (F زیاد ← V زیاد) $\quad f = \frac{nV}{2L}$ (V زیاد ← f زیاد)

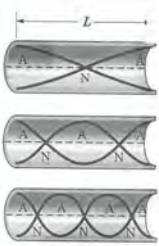
منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

ب) با نواختن (آزمایش) سیم‌ها گرم می‌شوند و نیروی کشش کاهش می‌یابد (سیم شل می‌گردد) و تندی موج کم می‌شود و سیم از کوک خارج می‌شود بنابراین باید مجدداً کوک شود.

موج ایستاده و تشدید در لوله‌های صوتی: در مورد ریسمان کشیده دیدیم چگونه برهم‌نهی موج‌های پیش‌رونده در جهت‌های مخالف نقش یک موج ایستاده را ایجاد می‌کند. به همین ترتیب می‌توان موج‌های صوتی ایستاده را در لوله‌ای پرشده از هوا ایجاد کرد. وقتی موج‌های صوتی در هوای درون لوله حرکت می‌کنند، از هر انتها بازمی‌تابند و به درون لوله بازمی‌گردند، حتی اگر آن انتها باز باشد (البته اگر انتهای لوله باز باشد این بازتاب به کاملی بازتابی نیست که از یک انتهای بسته رخ می‌دهد). درست مانند تار کشیده، اگر طول لوله مضرب‌های معینی از طول موج صوتی باشد، برهم‌نهی موج‌های پیش‌رونده در جهت‌های مخالف، نقش موج ایستادهٔ بارزی را در لوله ایجاد می‌کند. بسیاری از مشخصه‌های این موج ایستاده مشابه موج‌های ایستاده در ریسمان است: انتهای بستهٔ لوله مانند انتهای ثابت شدهٔ ریسمان است که در آنجا باید یک گره وجود داشته باشد، و در انتهای باز لوله نیز یک شکم وجود دارد. همچنین فاصلهٔ گره‌های مجاور از هم برابر $\lambda/2$ و فاصلهٔ گره‌ها از شکم‌های مجاور برابر $\lambda/4$ است.

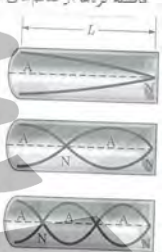
لوله صوتی باز (دو سر باز)
تعداد گره = n
تعداد شکم = تعداد گره + ۱

لوله صوتی بسته (یک سر بسته)
تعداد شکم = تعداد گره = n



گره	شکم	L
$n=1$	۲	$2\lambda/4$
$n=2$	۳	$4\lambda/4$
$n=3$	۴	$6\lambda/4$

لوله باز — $L = 2n\lambda/4$



گره	شکم	L
۱	۱	$1\lambda/4$
۲	۲	$3\lambda/4$
۳	۳	$5\lambda/4$

لوله بسته — $L = (2n-1)\lambda/4$

۱ـ البته برای انتهای باز یک لولهٔ صوتی که در آن موج ایستاده تشکیل شده است، در حالت‌های تشدیدی، تکم اندکی بیرون از این انتها قرار دارد که در این کتاب آن را در نظر نمی‌گیریم.

۲ـ محاسبه‌های مربوط به لوله‌های صوتی خارج از اهداف آموزشی این کتاب است و نباید مورد ارزشیابی قرار گیرد.

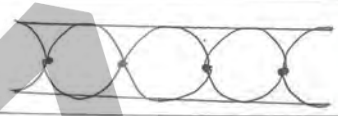
در یک لوله صوتی ۴ گره و (۳ یا ۵) گره تشکیل شده است. شکل تشدید آن را رسم کنید.

وسیله موسیقی
- لوله → باز (دو سر باز)
  - گره = n
  - شکم = گره + ۱
- لوله → بسته (یک سر بسته)
  - شکم = n
  - گره = شکم + ۱

در این مثال گفته شکم یا گره برابر است و چون لوله صوتی است پس لوله باز است

گره = ۴ → شکم = ۵

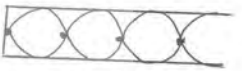
n = ۴ → L = ۸ λ/۴



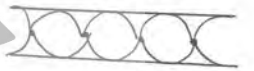
نوع	شکم	گره
لوله بسته	۴	۴
لوله باز	۵	۴
تار	۴	۵
[illegible]	۷	۴
[illegible]	۴	۷

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

A
B
C



منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸



A
B
C

عقیل اسکندری

پرسش ۴ـ۶

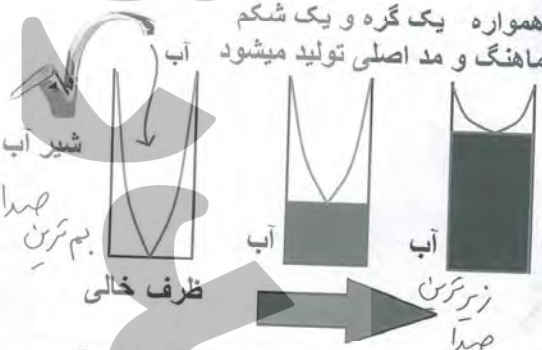
چرا وقتی آب را به درون ظرفی با دیواره‌های قائم مثل لیوان یا پارچ می‌ریزید، بسامد صدایی که می‌شنوید افزایش می‌یابد، یعنی صدای زیرتر و زیرتری را می‌شنوید؟ (راهنمایی: صدای حاصل از پرشدن ظرف گسترهٔ وسیعی از بسامدها را دارد که در هر لحظه، یکی از آنها با پایین‌ترین بسامد تشدیدی هوای درون ظرف ــ بسامد مد اول ــ منطبق است.)

در تمام این آزمایش

$L = 1\frac{\lambda}{4}$

وچون L یعنی طول خالی ظرف کم می‌شود پس λ کم می‌شود و چون $f = \frac{V}{\lambda}$

همواره یک گره و یک شکم هماهنگ و مد اصلی تولید میشود

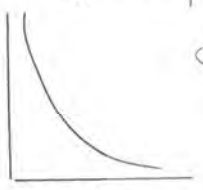


در حال پر شدن (V ثابت) f زیاد می‌شود

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

توجه: افزایش فرکانس (f) تدریجی است مثلاً بین حالت سمت چپ و وسطی درهر لحظه بازهم صدای پرشدن را می‌شنوم

بنابراین: $\lambda = \frac{V\text{ ثابت}}{f}$ کاهش / افزایش



λ طول موج و $L = 1\frac{\lambda}{4}$

مثال) تندی صوت در هوای یک محیط ۳۲۰ $\frac{m}{s}$ است. اگر در آزمایش قبل در دو لحظه که تا لبهٔ بالائی ظرف ۲۰ و ۱۶ سانتی‌متر فاصله دارند فرکانس را بدست آوریم اختلاف دو فرکانس چند HZ می‌گردد؟

$f = V/\lambda = 4V/L$

$f_1 = 6400$ و $f_2 = 8000 \rightarrow \Delta f = 1600$ HZ

مثال) دیاپازونی با بسامد ثابت بالای ظرف پُر از آبی به صدا درمی‌آید اگر شیر آب را باز کنیم چه پیش می‌آید؟

در این مثال بسامد ثابت است و تندی نیز تغییر نکرده پس طول موج هم ثابت است

$\lambda = \frac{v}{f}$

بنابراین فقط تعداد شکم و گره تغییر می‌کند.

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

آب

تشدید اول — تشدید دوم

۱ = گره = شکم ۲ = گره = شکم

در این آزمایش صدا زیر یا بم نمیشود ولی فقط در نقاط معینی صدای دیاپازون را تشدید میکند

توجه: در این مثال با خروج آب صدای پیوسته‌ای از ظرف نمی‌شنویم و فقط اگر بسامد لوله و بسامد دیاپازون یکی شوند تشدید رخ می‌دهد (یعنی در نقاط خاص از طول ظرف خالی)

بخوانید و پاسخ دهید

① دمیدن در دهانهٔ باریک یک بطری امکان ندارد ☐ می‌تواند ☐ موجب تولید صدا گردد

② یک بطری شبیه

تشدید در بطری و تشدیدگر هلمهولتز: اگر در دهانهٔ باریک یک بطری بدمید، می‌توانید آن را به صدا درآورید (شکل ۴ـ۴۰). در واقع یک بطری مانند یک لولهٔ صوتی با یک انتهای باز است که بسامدهای تشدیدی معینی دارد. وقتی در دهانهٔ یک بطری می‌دمیم گسترهٔ وسیعی از بسامدها ایجاد می‌شود. حال اگر یکی از این بسامدها با یکی از بسامدهای تشدیدی بطری منطبق باشد، یک موج صوتی قوی ایجاد می‌شود. البته نوسان‌های بطری دقیقاً مانند نوسان‌هایی نیست که در یک لولهٔ صوتی ساده ایجاد می‌شود، زیرا بطری یک گردن دارد و هوای موجود در این گردن با هوای موجود در بقیهٔ قسمت‌های بطری جزیی موسوم به تشدیدگر هلمهولتز را تشکیل می‌دهد که این موجب نوسانات هوای درون بطری می‌شود

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

(۳) یک لوله صوتی بسامدهای تشدید معین دارد ☐ ندارد ☐

(۴) وقتی در دهانهٔ یک بطری می دمیم فقط یک بسامد خاص ☐ گستره وسیعی از بسامدها ☐ تولید می شود

(۵) وقتی بسامد دمیدن ما و یکی از ..... بطری (بزرگتر ☐ کوچکتر ☐ مساوی ☐) گردد موج صوتی قوی تری ایجاد می گردد.

(۶) دمیدن در یک بطری دقیقاً شبیه یک لوله صوتی یک سر بسته است ☐ نیست ☐

(۷) دمیدن در بطری با وسیله ای به نام تشدیدگر ..... شباهت دارد.

شکل ۴ـ۴۰ با دمیدن در دهانهٔ یک بطری، می‌توانید آن را به‌صدا درآورید.

. نوع اولیهٔ تشدیدگر هلمهولتز کره‌هایی توخالی با دهانه‌ای باز به شکل یک گردن است که در سال ۱۸۵۰ میلادی توسط دانشمند آلمانی، هرمن فون هلمهولتز، ساخته شد (شکل ۴ـ۴۱). تشدیدگرهای هلمهولتز نیز همانند لوله‌های صوتی بسامدهای تشدیدی معیّنی دارند و هرگاه بسامد یک صوت برابر با یکی از بسامدهای تشدیدی آنها باشد، تشدیدگر پاسخ قوی‌تری به این صوت می‌دهد.

(ب) (الف)

شکل ۴ـ۴۱ الف) طرحی از تشدیدگر اولیه هلمهولتز و ب) تصویری از چند تشدیدگر هلمهولتز کروی با اندازه‌های متفاوت

(۸) نوع اولیه تشدیدگر هلمهولتز (کره ☐ استوانه ☐) (توپر ☐ توخالی ☐) (با دهانه باز ☐ بسته ☐) (شبیه شکم ☐ گردن ☐)

(۹) تشدیدگر هلمهولتز مانند ..... دارای بسامد معین .....

و وقتی صوتی با یکی از ..... تشدیدی آن ..... شود پاسخ قوی‌تری دهد

عقیل اسکندری

فعالیت ۴ـ۶

یک بلندگو را در برابر دهانهٔ یک تشدیدگر هلمهولتز با بسامدهای تشدیدی معیّن قرار دهید و جلوی زائدهٔ خروجی آن یک شمع روشن یا یک فرفرهٔ کوچک و کم‌اصطکاک بگذارید. بسامد صوت ایجاد شده توسط بلندگو را در نزدیکی بسامد تشدید تشدیدگر آن‌قدر کم و زیاد کنید تا شعلهٔ شمع، منحرف شود و یا فرفره شروع به چرخیدن کند. درصورتی‌که منبع صوتی با بسامد قابل تنظیم ندارید می‌توانید از چند دیاپازون با بسامدهای معلوم و متفاوت، که بسامد یکی از آنها با یکی از بسامدهای تشدیدی تشدیدگر برابر باشد، استفاده کنید[۱]. دلیل آنچه را که مشاهده می‌کنید در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

می دانیم تشدیدگر هلمهولتز بسامدهای تشدیدی معین دارد وقتی بسامد بلندگو را تغییر دهیم در هر لحظه که این بسامد با بسامد تشدیدگر مساوی شود صوت قوی‌تر شنیده می‌شود و چون انتهای تشدیدگر که محل خروج آشفتگی ایجاد شده است نزدیک به شمع یا فرفره است موجب چرخیدن فرفره یا انحراف شعع می‌شود

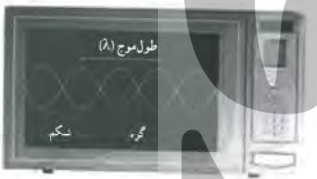
پرسش ۴ـ۷

با دمیدن در بطری‌های یکسان با سطوح مایع مختلف می‌توان آهنگی با بسامدهای متفاوت ایجاد کرد. دلیل آن چیست؟

هر بطری مانند یک تشدیدگر هلمهولتز است. دمیدن باعث تولید صوت‌هائی در یک گستره وسیع می‌شود بنابراین بسامد تشدیدی هر بطری که عدد معینی است برابر می‌شود و با هر بار دمیدن هر بطری بسامد تشدیدی خودرا تولید می‌کند (هرچه طول خالی کم شود بسامد زیادتر)

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

فناوری و کاربرد: امواج ایستاده در اجاق‌های میکروموج



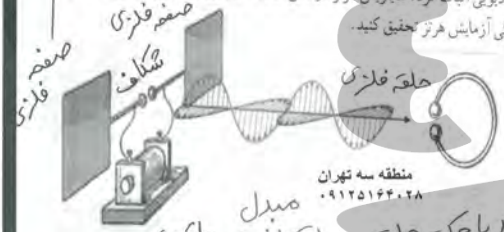
تصویری یک بُعدی از ایجاد امواج ایستاده در داخل یک اجاق میکروموج

اجاق‌های میکروموج (مایکروفر) بر اساس تداخل امواج الکترومغناطیسی و تشکیل امواج ایستاده کار می‌کنند. بسامد امواج ایستادهٔ ایجاد شده در این اجاق‌ها ۲/۴۵۰ GHz و طول‌موج آن‌ها حدود ۱۲ cm است. میکروموج‌های بازتابیده از دیواره‌های فلزی اجاق با پرهم‌نهی با موج‌های تابیده، موج‌های ایستاده‌ای را در داخل محفظهٔ اجاق ایجاد می‌کنند که از گره‌ها و شکم‌ها تشکیل شده‌اند. در محل شکم‌ها دامنهٔ نوسان میدان الکتریکی بیشینه است. مولکول‌های آب موجود در مواد غذایی در این نقاط به‌شدت به ارتعاش درمی‌آیند و بیشترین افزایش دما ایجاد می‌شود. در حالی که در محل گره‌ها، دامنهٔ نوسان میدان الکتریکی صفر است و هیچ نوسان میدان الکتریکی‌ای نداریم که موجب پختن یا گرم شدن مواد غذایی شود و در گره‌ها اصطلاحاً نقاط سرد داریم. بنابراین غذا به‌طور یکنواخت پخته یا گرم نمی‌شود. به همین دلیل اجاق‌های میکروموج صفحه‌های گردانی دارند تا با گرداندن غذا در اجاق، هیچ بخشی از غذا در گره (نقطهٔ سردی) باقی نماند.

خلاصه این فناوری: ① امواج الکترومغناطیسی عرضی هستند ② در اجاق میکروموج از برهم‌نهی (تداخل) این امواج موج ایستاده (گره‌ها - شکم‌ها) پدید می‌آید ③ در محل شکم‌ها داغ‌ترین حالت و در محل گره‌ها سردترین حالت وجود دارد ④ بدین طریق یکنواخت غذا از چرخش سینی غذا استفاده می‌کند

فعالیت ۴-۷

تداخل در امواج الکترومغناطیسی (آزمایش هرتز): اگرچه ماکسول پیش از پایان قرن نوزدهم وجود امواج الکترومغناطیسی را پیش‌بینی کرده بود، این هرتز بود که با آزمایش‌های نداخلی خود که به تولید موج‌های الکترومغناطیسی ایستاده انجامید، وجود موج‌های الکترومغناطیسی را در گسترهٔ بسامد رادیویی اثبات کرد. هاینریش هرتز در سال ۱۸۸۸ میلادی با وسایل ابتدایی آن زمان این آزمایش را به انجام رسانید. در مورد چگونگی آزمایش هرتز تحقیق کنید.



مبدل باعث باردار شدن صفحات و تخلیه آنها در محل شکاف (جرقه) می‌شود و موج الکترومغناطیسی پدید می‌آید با حرکت حلقه

روی محور افقی هرجا B_{max} ← E القائی (max) جرقه و هرجا $B=0$ → $E=0$ عدم جرقه

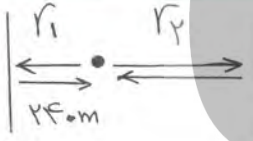
پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴

۴ـ۱ بازتاب موج

۱. دانش‌آموزی بین دو صخرهٔ قائم ایستاده است و فاصلهٔ او از صخرهٔ نزدیک‌تر ۲۴۰m است. دانش‌آموز فریاد می‌زند و اولین پژواک صدای خود را پس از ۱/۵۰s و صدای پژواک دوم را ۱/۰۰s بعد از پژواک اول می‌شنود.

الف) تندی صوت در هوا چقدر است؟

ب) فاصلهٔ بین دو صخره را بیابید.



صخره نزدیک — صخره دور

(صوت حرکت یکنواخت دارد)

$\Delta x = Vt \rightarrow 240 = V(0/75) \rightarrow V = 320\ m/s$ (الف)

(فقط زمان رفت که نصف زمان کل است)

ب) برای پژواک دوم: کل $t = 1/5 + 1 = 2/5\ s$

$\Delta x = Vt = 320 \times 1/25 = 400\ m$

(نصف زمان کل پژواک دوم)

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

ب۲) فاصله دو صخره $\Delta x_{کل} = 400 + 240 = 640\ m$

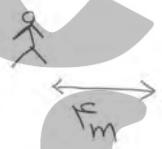
۲. اگر در فاصلهٔ مناسبی از یک رشته پلکان بلند بایستید و یک بار کف بزنید، پژواکی بیشتر از یک صدای برهم زدن دست می‌شنوید. نمونهٔ جالبی از این پدیده در برابر رشته پله‌های معبد قدیمی کوکولکان[1] در مکزیک رخ می‌دهد. این معبد از ۹۲ پلهٔ سنگی تشکیل شده است. در مورد چنین پژواکی توضیح دهید.

علت پژواک متوالی از پله‌ها است.

هر چه پله نزدیکتر باشد پژواک صوت سریعتر برمی‌گردد و ما با ایجاد یک صدا، چندین صدای متوالی می‌شنویم

مثال در یک استادیوم ۱۰ پله به ارتفاع ۲۰ cm و عمق ۸۰ cm وجود دارد فردی با برهم کوبیدن کف دو دست صدای (تاپ) تولید می‌کند. این مرد چه صدائی خواهد شنید؟ تندی صوت ۳۲۰ m/s

(فرد تا اولین پله) فاصله اولین پله تا فرد ۴۰۰ cm



برای شنیدن اولین پژواک:

$\Delta x = v t$

$t_1 = \frac{۲(۴+۰/۸)}{۳۲۰} = ۰/۰۳ s$

$t_2 = \frac{۲(۴+۱/۶)}{۳۲۰} = ۰/۰۳۵ s$ ← $۰/۰۰۵ s$

$t_3 = \frac{۲(۴+۲/۴)}{۳۲۰} = ۰/۰۴ s$ ← $۰/۰۰۵ s$

یعنی هر $۰/۰۰۵ s$ یک (تاپ) می شنویم $T = ۰/۰۰۵ s$

$f = \frac{۱}{T} = \frac{۱۰۰۰}{۵} = ۲۰۰ HZ$

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

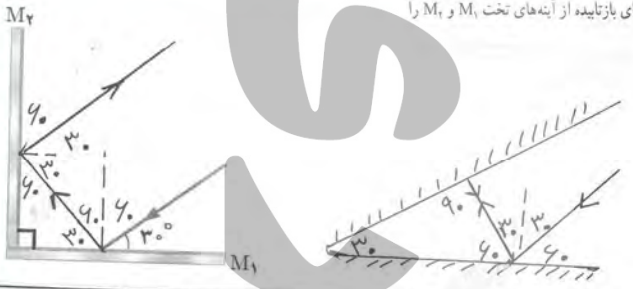
توجه در واقع نمی‌توان فرکانس ثابت بدست آورد چون منبع تفت نیست پس فرکانس‌ها در یک دامنهٔ وسیع قرار دارند و هرچه پله به فرد نزدیکتر باشد فرکانس بیشتر است

۳. وقتی یک باریکهٔ لیزر را به دیوار کلاس می‌تابانیم، همهٔ دانش‌آموزان نقطهٔ رنگی ایجاد شده روی دیوار را می‌بینند. دلیل آن چیست؟

در یک محیط کدر نور بازتاب پخشیده نور را به همه جهات می فرستد و همه می بینند

۴. در شکل زیر پرتوهای بازتابیده از آینه‌های تخت M_1 و M_2 را رسم کنید.

مثال



۴ـ۲ شکست موج

۵. با رسم شکلی از جبهه‌های موج توضیح دهید چگونه جهت انتشار جبهه‌های موج با رسیدن به یک ساحل شیب‌دار، تغییر می‌کند.

با ورود موج به قسمت کم عمق تندی و طول موج کم می‌شود

۶. شکل زیر پرتویی را نشان می‌دهد که از هوا وارد شیشه شده است. کدام گزینه‌های A تا D، می‌تواند پرتوی داخل شیشه را نشان دهد؟

(پرتو C)

$n_2 > n_1$

هوا (رقیق) (غلیظ)

وقتی نور از رقیق به غلظ می‌رود به خط عمود نزدیک می‌شود

اگر پرتو تابش محمود بر سطح بود $\theta_1 = 0$ در آن صورت $\theta_2 = 0$ و جواب D بود

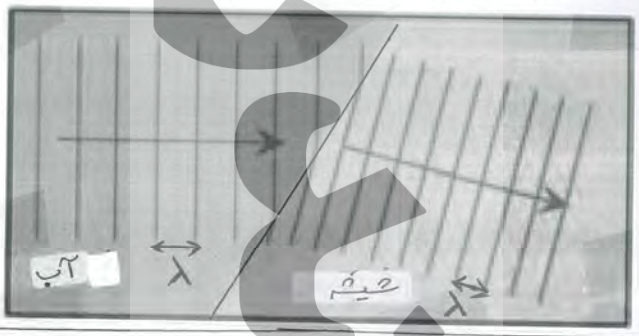
۷. ضریب شکست آب ۱/۳ و ضریب شکست شیشه ۱/۵ است. اگر نوری به‌طور مایل از آب به مرز شیشه با آب بتابد، با رسم نمودار، جبهه‌های موج را در دو محیط نشان دهید.

$n_{\text{شیشه}} > n_{\text{آب}}$

شیشه غلیظ — آب رقیق

$v_{\text{شیشه}} < v_{\text{آب}}$

درست مانند این است که موج در آب از قسمت عمیق به قسمت کم‌عمق می‌رود و سرعتش کم می‌شود.



۸. شکل زیر جبهه‌های موجی را نشان می‌دهد که بر مرز بین محیط I و محیط R فرود آمده‌اند.

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

الف) ادامهٔ جبههٔ موج EF را در محیط R رسم کنید.

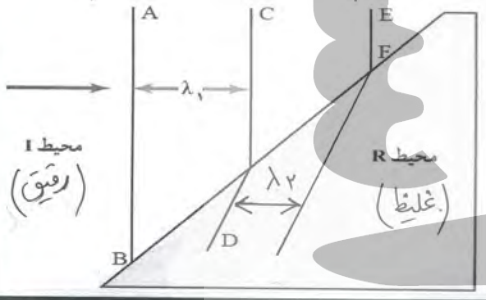
ب) توضیح دهید در کدام محیط تندی موج بیشتر است.

پ) آیا با استفاده از این نمودار می‌توان نسبت تندی موج عبوری به موج فرودی را محاسبه کرد؟

توجه: چون جبهه‌های موج نابش موازی هستند، جبهه‌های موج شکست هم موازی می‌شوند.

$\lambda_1 > \lambda_2 \longrightarrow v_1 > v_2$

(مقدار فرکانس همواره ثابت)



پ) بله

$f_1 = f_2$

$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2}$

$\lambda_2/\lambda_1 = v_2/v_1$

۹. در شکل زیر 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.

الف) مشخصه‌های موج بازتابیده و موج شکست‌یافته را با موج فرودی مقایسه کنید.

ب) جبهه‌های موج بازتابیده و شکست‌یافته را رسم کنید.

الف) فرکانس موج

$f_{\text{تابش}} = f_{\text{بازتابیده}} = f_{\text{شکست}}$

$v_{\text{تابش}} = v_{\text{بازتابیده}} > v_{\text{شکست}}$

$\lambda_{\text{تابش}} = \lambda_{\text{بازتابیده}} > \lambda_{\text{شکست}}$

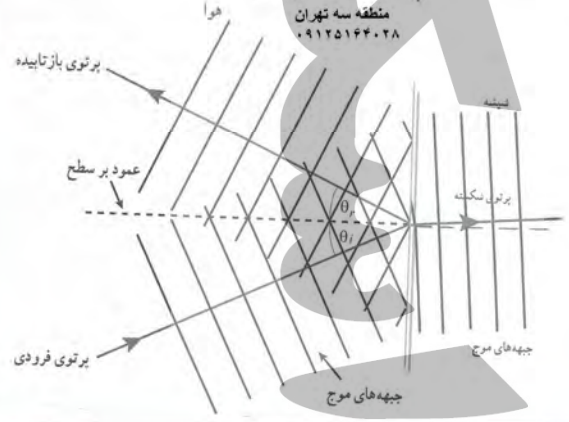
$n_{\text{آب}} < n_{\text{شیشه}}$

توجه: محیط پرتو تابش و بازتابیده یکی است.

توجه: وقتی می‌خواهیم رسم کنیم ابتدا جبهه‌ها را نگاه نمی‌کنیم و پرتوها را رسم می‌کنیم. بعد جبهه‌ها را عمود بر پرتوها رسم می‌کنیم.

از رفیق به غلط به خط عمود نزدیک

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸



ت ۶

ک ۱۲ | ف ۴ | ص ۵۹

عقیل اسکندری

۱۰. طول‌موج نور قرمز لیزر هلیم ـ نئون در هوا حدود ۶۳۳nm است، ولی در زجاجهٔ چشم ۴۷۴nm است. الف) بسامد این نور چقدر است؟ ب) ضریب شکست زجاجیه برای این نور چقدر است؟ پ) تندی این نور در زجاجیه را محاسبه کنید.

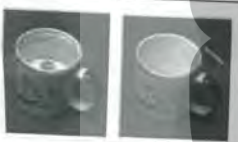
$\lambda = \frac{c}{f}$

$f = \frac{c}{\lambda_{هوا}} = \frac{۳\times۱۰^{۸}}{۶۳۳\times۱۰^{-۹}} = ۴/۷\times۱۰^{۱۴}\ HZ$ الف

$\frac{n_۲}{n_۱} = \frac{\lambda_۱}{\lambda_۲} \xrightarrow[n_{هوا}=۱]{} n_{زجاجیه} = \frac{۶۳۳\times۱۰^{-۹}}{۴۷۴\times۱۰^{-۹}} = ۱/۳$ ب

$\frac{n_۲}{n_۱} = \frac{v_۱}{v_۲} \xrightarrow[n_{هوا}=۱]{} v_{زجاجیه} = \frac{c}{n_{زجاجیه}} = \frac{۳\times۱۰^{۸}}{۱/۳} = ۲/۲\times۱۰^{۸}\ m/s$ پ

۱۱. سکه‌ای را در گوشهٔ فنجانی خالی قرار دهید و طوری مقابل آن قرار گیرید که نتوانید سکه را ببینید. سپس بی‌آنکه سرتان را حرکت دهید به‌آرامی در فنجان آب بریزید، به‌طوری که آب ریختن شما موجب جابه‌جایی سکه نشود. با برشدن فنجان، سکه را خواهید دید. با رسم پرتوها علت دیده شدن سکه را توضیح دهید.



نوری که از سکه بطرف چشم می‌رود از غلظ به رقیق است و از خط عمود دور می‌شود چشم، سکه را بالاتر و بطرف نزدیکتر می‌بیند

می‌توان ثابت کرد اگر عمود نگاه کنیم $h_{ظاهر} = \frac{۱}{n} h_{واقعی}$

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

۱۲. مطابق شکل، پرتو نوری که از ماهی به چشمان شخص می‌رسد تحت زاویهٔ ۶۰° به مرز آب ـ هوا برخورد کرده است. زاویهٔ شکست این پرتو در هوا چقدر است؟

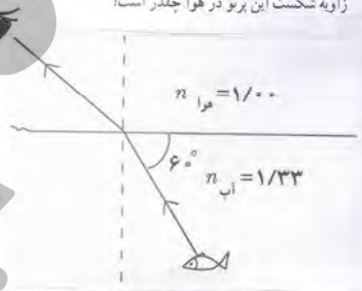
قانون اسنل

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

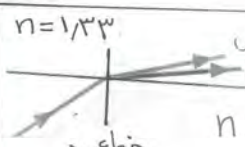
(هوا) (آب)

$\sin\theta_2 = \frac{(1/33)\sin 30}{1}$

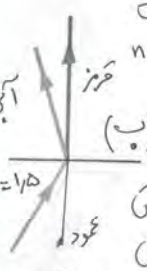
$\sin\theta_2 = 0/66 \rightarrow \theta_2 = 41^\circ$



۱۳. در شکل‌های زیر، پرتوی فرودی که شامل نورهای قرمز و آبی است در سطح مشترک دو ماده شکست پیدا کرده‌اند. کدام شکل، شکستی را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟



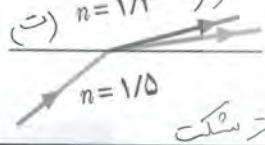
(الف) غ نور از غلیظ به رقیق رفته و از خط عمود دور شده ولی باید پرتو آبی بیش از قرمزی شکست



(ب) غ چون پرتو اصلی در ربع ۳ دایره مثلثاتی است باید پرتوهای شکست در ربع اول باشند

(پ) (غ) از رقیق به غلیظ به خط عمود نزدیک قرمز ← دورشده $\theta_2 = 0$ یعنی باید $\theta_1 = 0$ آبی باشد

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸



(ت) درست غلیظ به رقیق از عمود دور شد آبی از قرمز بیشتر شکست

ت ۸

ک ۱۲ | ف ۴ | ص ۶۱

عقیل اسکندری

۱۴. دو دانش‌آموز به نور زرد نگاه می‌کنند. یکی از آنها نور زرد را ترکیب دو نور قرمز و سبز و دیگری آن را از یک نوع رنگ می‌داند. به نظر شما با چه تجربه‌ای می‌توان بین این دو نظر، یکی را انتخاب کرد؟

روش اول استفاده از منشور

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

روش دوم : استفاده از تیغه دوشکافی آزمایش یانگ

در نوار مرکزی (سبز + قرمز = زرد) ولی در دو طرف نوار مرکزی چون پهنای قرمز از سبز بیشتر است ($\lambda_{قرمز} > \lambda_{سبز}$) قرمز وجود دارد

۱۵. در یک تشت موج، مطابق شکل زیر، موج تختی ایجاد شده است. توضیح دهید با باریک کردن شکاف‌ها چه شکلی برای جبهه‌های موج خروجی از آنها حاصل می‌شود.

هرچه عرض شکاف با اندازه طول موج نزدیک‌تر شود موج خروجی از شکاف از حالت تخت به نیم دایره‌ای (کروی) نزدیک‌تر می‌شود

پهنای شکاف در حدود λ

ت ۹

عقیل اسکندری

ص ۶۲ | ف ۴ | ک ۱۲

۱۷. گوشی‌های همراه با امواج رادیویی با بسامد حدود ۲GHz کار می‌کنند. توضیح دهید این امواج تحت چه شرایطی از موانع پراشیده می‌شوند و به منطقهٔ سایهٔ مانع می‌رسند.

برای پراش باید ابعاد جسم در حدود طول موج باشد

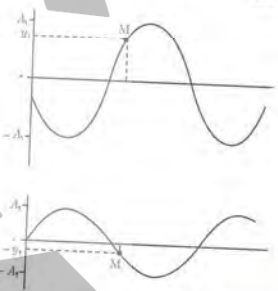
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{۳\times۱۰^{۸}}{۲\times۱۰^{۹}} = ۱۵\times۱۰^{-۲}\ m = ۱۵\ cm$$

۴ـ۴ تداخل امواج

۱۷. در شکل‌های زیر، وقتی موج ۱ بر موج ۲ برهم نهاده شود شکل موج برهم‌نهاده را رسم کنید.

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

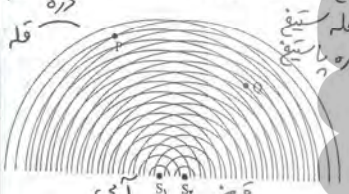
۱۸. شکل‌های زیر نمودار جابه‌جایی ـ مکان دو موج را در لحظهٔ معیّنی نشان می‌دهد. جابه‌جایی برایند نقطهٔ M در این لحظه چقدر است؟



$y_t = y_1 + y_2 > 0$

$|y_1| > |y_2|$ $\quad$ >0 صفر+ مثبت = جواب

۱۹. دو چشمهٔ نقطه‌ای S_1 و S_2 به‌طور هم‌زمان، با بسامد یکسان، و همگام با یکدیگر در یک تشت موج نوسان می‌کنند و جبهه‌های موجی را مطابق شکل زیر به‌وجود می‌آورند. توضیح دهید دامنهٔ موج برایند در نقطه‌های P و Q چگونه است؟



قله دره
قله دره یا تعادل

P تداخل سازنده (هرجا پر نشانه قله است پس P محل به هم رسیدن دو قله آبی و قرمز است)

Q تداخل ویرانگر (قله یکی روی دره دیگری)

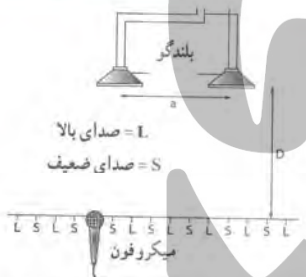
عقیل اسکندری

ص ۶۳ | ف ۴ | ک ۱۲

۱۰. در آزمایش تداخل صوتی (شکل ۴ـ۳۱ کتاب)، فاصلهٔ بین هر نقطهٔ با صدای بالا (L) تا نقطهٔ با صدای ضعیف (S) مجاورش، متناسب با طول‌موج موج صوتی به‌کار رفته در این آزمایش است. برای آنکه این آزمایش به‌سادگی انجام‌پذیر باشد باید فاصلهٔ نقطه‌های S و L مجاور نه خیلی زیاد، و نه خیلی کم باشد.

الف) بسامد صوت گسیل‌شده از بلندگوها را چگونه تغییر دهیم تا نقطه‌های S و L مجاور به‌هم نزدیک شوند؟

ب) بسامد صوت گسیل‌شده از بلندگوها را چگونه تغییر دهیم تا نقطه‌های S و L مجاور از هم دور شوند؟



چون فاصلهٔ هر نقطهٔ با صدای بالا (L) و نقطهٔ با صدای پائین (S) متناسب با طول موج (λ) است

(الف) λ کم شود $\rightarrow$ L و S نزدیک شوند $\rightarrow f = \frac{V}{\lambda}$

V ثابت (در یک محیط) یعنی باید صوتی با بسامد زیاد استفاده شود

(ب) λ زیاد شود $\rightarrow f = \frac{V}{\lambda}$ $\rightarrow$ f کم باشد $\rightarrow$ L و S زیاد شوند

---

۱۱. در آزمایش یانگ، الف) اگر آزمایش را به‌جای نور تکفام سبز با نور تکفام قرمز انجام دهیم بهنای هر نوار تاریک یا روشن چه تغییری می‌کند؟

ب) اگر آزمایش را به‌جای آنکه در هوا انجام دهیم، در آب انجام دهیم، بهنای هر نوار تاریک یا روشن چه تغییری می‌کند؟

بهنای هر نوار در آزمایش یانگ با طول موج نور متناسب است

الف) سبز $\lambda <$ قرمز $\lambda \leftarrow$ بهنای سبز < بهنای قرمز

ب) وقتی نور از هوا وارد آب شود $\leftarrow$ طول موج کم می‌شود $\leftarrow$ بهنای نوارها کم می‌شوند.

$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{n_1}{n_2}$

مثال) اگر $\frac{n_1}{n_2} = \frac{4}{3}$ باشد بهنای هر نوار در آب، $\frac{3}{4}$ برابر بهنای هر نوار در هواست.

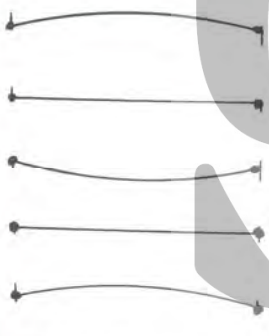
عقیل اسکندری

ک ۱۲ | ف ۴ | ص ۶۴

۲۲. تاری که بین دو تکیه‌گاه محکم شده است در هماهنگ اول خود با بسامد f به نوسان درمی‌آید. شکل زیر جابه‌جایی تار در $t=0$ را نشان می‌دهد.

الف) جابه‌جایی تار را در $t=\frac{1}{4f}$ و $t=\frac{1}{2f}$ رسم کنید.

ب) فاصلهٔ بین تکیه‌گاه‌ها ۱/۰m است. اگر تندی موج عرضی در تار ۲۴۰m/s باشد، بسامد نوسان تار چقدر می‌شود؟



توجه:

$t=\frac{1}{4f}=\frac{T}{4}$

$t=\frac{1}{2f}=\frac{T}{2}$

$f=\frac{V}{\lambda}=\frac{240}{2}=120\ Hz$ (ب)

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

---

۲۳. تار ویولنی که طول آن ۱۵/۰cm است و در دو انتها بسته شده است، در مُد $n=1$ خود نوسان می‌کند. تندی موج عرضی در این تار ۲۵۰m/s و تندی صوت در هوا ۳۴۸m/s است.

الف) بسامد و ب) طول‌موج امواج صوتی گسیل‌شده از تار چقدر است؟

نکته در این است که در تار تندی موج عرضی و در صوت تندی صوت را لازم داریم ولی فرکانس موج عرضی تار با موج صوتی تولیدشده یکی است.

$f_{\text{تار}}=\frac{nV}{2L}=\frac{(1)(250)}{2(0/15)}=833/3\ Hz$

$f_{\text{صوت}}=\frac{V}{\lambda}\longrightarrow\lambda=\frac{348}{833/3}=0/417\ m$

---

۲۴. اگر بسامد اصلی یک تار ویولن به جرم ۸۰۰mg و طول ۲۲/۰cm برابر ۹۲۰Hz باشد،

الف) تندی موج عرضی در این تار را به دست آورید.

ب) کشش تار چقدر است؟

$f=\frac{nV}{2L}\longrightarrow V=\frac{2\times0/22\times920}{1}$ (اصلی)

$V=404/8\ m/s$ (الف)

ب) $V=\sqrt{FL/m}\longrightarrow F=mV^2/1=0/596\ N$

ب) برای بسامد اصلی، طول‌موج موج عرضی در تار و طول‌موج امواج صوتی گسیل شده توسط تار چقدر است؟ تندی صوت در ۳۴۰m/s در نظر بگیرید.

پ) $\lambda_{\text{تار}}=\frac{V}{f}=\frac{404/8}{920}=0/44\ m$

$\lambda_{\text{صوت}}=\frac{V}{f}=\frac{340}{920}=0/36\ m$

۲۵. تار ویولنی به طول ۳۰/۰cm و جگالی خطی جرمی ۰/۶۵۰g/m در نزدیکی بلندگویی قرار داده شده است که توسط یک نوسان‌ساز صوتی با بسامد متغیر به‌کار می‌افتد. معلوم شده است وقتی بسامد نوسان‌ساز در گسترهٔ ۱۵۰۰–۵۰۰Hz تغییر می‌کند تار فقط هنگامی به نوسان در می‌آید که بسامد آن ۸۸۰Hz و ۱۳۲۰Hz باشد.

الف) چه پدیده‌ای سبب به نوسان درآمدن تار شده است؟

ب) بسامد اصلی تار چقدر است؟ پ) کشش تار چقدر است؟

الف) پدیده تشدید رخ داده

($f_{\text{تار}} = f_{\text{نوسان ساز}}$) (ایجاد موج ایستاده بارز)

($f_{\text{تار}} \neq f_{\text{نوسان ساز}}$) (عدم ایجاد موج ایستاده بارز)

$\frac{V}{\lambda} = f_{\text{نوسان ساز}} = f_{\text{تار}} = \frac{nV}{2L}$

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

طراح گفته در بسامدهای ۸۸۰Hz و ۱۳۲۰Hz تشدید رخ داده

یعنی تعداد شکم n و $n+1$ بوده :

$f' - f = \frac{V}{2L}$ ↑

$\frac{(n+1)V}{2L} - \frac{nV}{2L} = \frac{V}{2L}$ (اصطلاحاً می‌گوییم دو فرکانس متوالی)

ب) $f_{\text{اصلی}} = f_{\text{تار}} = \frac{nV}{2L} = \frac{1V}{2L} = 1320 - 880 = 440\,\text{Hz}$

$f = \frac{V}{2L} \rightarrow V = 2Lf = 2(0.3)(440) = 264\,\frac{m}{s}$

$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \rightarrow F = v^2\mu = (264)^2(0.65\times10^{-3})$

کشش تار $F = 45.38\,N$

۲۷. در یک تار دو سر بسته، یکی از بسامدهای تشدیدی ۳۲۵Hz، و بسامد تشدیدی بعدی ۳۹۰Hz است. بسامد تشدیدی پس از ۱۹۵Hz این تار چیست؟

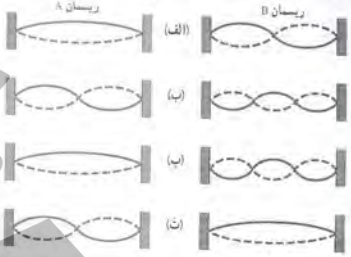
$f = \frac{nV}{2L}$ $f_1 \xrightarrow{\frac{V}{2L}} f_2 \xrightarrow{\frac{V}{2L}} f_3$

$V/2L = 390 - 325 = 65$

۶۵ و ۱۳۰ و ۱۹۵ و ۲۶۰ و ۳۲۵ و ۳۹۰

$\frac{V}{2L}$ = متوالی یعنی Δf

۲۷. ریسمان‌های A و B، طول و چگالی خطی جرمی یکسانی دارند، ولی ریسمان B تحت کشش بیشتری نسبت به ریسمان A قرار دارد. شکل زیر چهار وضعیت (الف) تا (ت) را نشان می‌دهد که در آنها نقش‌های موج ایستاده در دو ریسمان وجود دارند. در کدام وضعیت‌ها، احتمال دارد که ریسمان‌های A و B در بسامد تشدیدی یکسانی نوسان کنند؟



منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

۲۸. رشته‌ای از بسامدهای تشدیدی یک تار با دو انتهای بسته عبارت‌اند از: ۱۵۰Hz، ۲۲۵Hz، ۳۰۰Hz، و ۳۷۵Hz. در این رشته یک بسامد (کمتر از ۴۰۰Hz) جا افتاده است.

الف) این بسامد کدام است؟

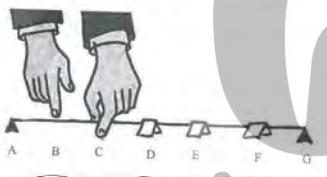
ب) بسامد هماهنگ هفتم چقدر است؟

۲۹. در یک تار موسیقی با نیروی کشش F هماهنگ سوم تولید می‌شود و با نیروی کشش F′ تعداد گره‌ها در همان بسامد دو برابر می‌شود. $\frac{F'}{F}=?$

عقیل اسکندری

ص ۶۷ | ف ۴ | ک ۱۲

۲۹. در شکل نشان داده شده، نقاط A، B، C، D، E، F، و G در فاصله‌های یکسانی از هم قرار دارند. تار را در نقطهٔ C به آرامی می‌گیریم، طوری که نوسان‌های بخشی از تار که سمت چپ نقطهٔ C است، بتواند به سمت راست این نقطه منتقل شود. اکنون تار را در نقطهٔ B می‌نوازیم. بدین ترتیب موج ایستاده‌ای در طول تار تشکیل می‌شود، به‌طوری که در نقطه‌های A، و C گره و در نقطهٔ B شکم آن قرار دارد. به گمان شما برای کاغذهای تاشده‌ای که در نقاط D، E، و F قرار دارند، چه رخ می‌دهد؟



کاغذهای D و F به هوا پرتاب می‌شوند و کاغذهای E و G در جای خود ساکن می‌مانند.

منطقه سه تهران
۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸

۳۰. وقتی گالن آبی را خالی می‌کنیم، یا خالی شدن آب صدای گلوپ گلوپی را می‌شنویم. موقع خالی شدن گالن بسامد این صدا کمتر می‌شود (صدای بم‌تر) یا بیشتر (صدای زیرتر)؟ چرا؟

(درمتن درس صدای پُر (شدن بطری بررسی شد؛ وقتی گالن خالی می‌شود حجم خالی لوله صوتی (تقریبی) زیاد می‌شود: (طول لوله ℓ طول موج خالی) $\longrightarrow$ طول موج زیاد می‌شود $\longrightarrow \lambda = \frac{V}{f}$ (V ثابت)(تندی صوت) در لبهٔ f (فرکانس) کم می‌گردد، صدای تولیدی در یک گسترهٔ وسیع دائماً "بم" تر می‌گردد.

۳۱. در گذشته برای آگاه کردن کشتی‌ها از خطر صخره‌ها، در صدف‌های حلزونی می‌دمیدند. امروزه بیشتر برای جشن‌ها و شادی‌ها در آنها می‌دمند. چگونه این صدف‌ها می‌توانند چنین صدایی ایجاد کنند؟

لب‌ها می‌توانند گستره‌ای وسیع از فرکانس را تولید کنند اگر این گسترهٔ وسیع در اعدادی خاص با فرکانس صدف برابر شود تشدید رخ می‌دهد

تدریس خط به خط

فیزیک دوازدهم

فصل ۴ ریاضی

(ادامه فصل سوم تجربی)

دبیر فیزیک منطقه سه

تهران

۰۹۱۲۵۱۶۴۰۲۸