@jozveh_nub

## فصل چهارم: برهم کنش‌های موج

**بازتاب، شکست، پراش و تداخل برهم کنش‌های موج با محیط هستند.**

### بازتاب

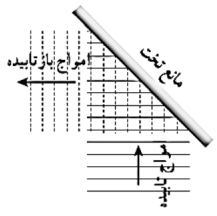
**پژواک** صوت نمونه‌ای از بازتاب امواج مکانیکی است. خفاش برای یافتن طعمه از پژواک موج صوتی خود استفاده می‌کند. امواج الکترومغناطیسی (از جمله نور) نیز بازمی‌تابند.

❖ تولید صدا در آلات موسیقی، پژواک صداها، دیدن ماه، دیدن صفحهٔ کتاب، گرم شدن مواد غذایی در اجاق‌های خورشیدی، جمع شدن امواج رادیویی در کانون آنتن های بشقابی و ...مثال هایی از کاربرد بازتاب امواج در زندگی هستند.

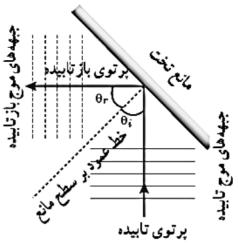
❖ زاویهٔ بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی تابیده (فرودی) را **زاویهٔ تابش** می‌نامند و با $\theta_i$ نشان می‌دهند.

❖ زاویهٔ بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی بازتابیده را **زاویهٔ بازتابش** می‌نامند و با $\theta_r$ نشان می‌دهند.

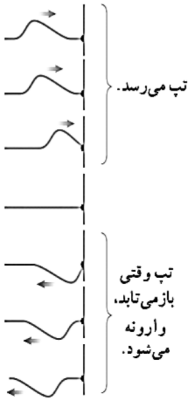
❖ همواره زاویهٔ بازتابش برابر با زاویهٔ تابش است: یعنی $\theta_i = \theta_r$ که به آن، **قانون بازتاب عمومی** گفته می‌شود.




طرحی از جبهه‌های موج تابیده (خطوط توپر) و جبهه‌های موج بازتابیده (خطوط خط‌چین)




نمودار پرتویی همراه با جبهه‌های موج برای بازتاب امواج تخت از سطح مانعی تخت




❖ اگر سطح بازتابندهٔ نور همچون یک آینه، بسیار هموار باشد، بازتاب نور را **بازتاب آینه‌ای** یا **منظم** می‌گویند. نوع دیگر بازتابش، **بازتاب پخشنده** یا **نامنظم** است.

**پژواک**: اگر صوت پس از بازتاب، با یک تأخیر زمانی به گوش شنونده‌ای 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 نمی تواند پژواک را از صوت مستقیم اولیه تمیز دهد.

Edited with the demo version of Infix Pro PDF Editor
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

@jozveh_nub

@jozveh_nub



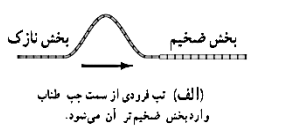
**مکان‌یابی پژواکی** روشی است که بر اساس امواج صوتی بازتابیده از یک جسم، مکان آن جسم را تعیین می‌کند.
مکان یابی پژواکی به همراه اثر دوپلر، در تعیین مکان اجسام متحرک و نیز تعیین تندی آنها به کار می‌رود. همین طور در فنّاوری‌هایی نظیر اندازه‌گیری تندی شارش خون در رگ‌ها نیز از این روش استفاده می‌شود.
همچنین در دستگاه سونار که در کشتی‌ها برای مکان‌یابی اجسام زیر آب به کار می‌رود، و در سونوگرافی نیز از مکان یابی پژواکی استفاده می‌شود.
دستگاه لیتوتریپسی که از آن برای شکستن سنگ های کلیه، با کمک بازتابنده های بیضوی استفاده می‌شود.

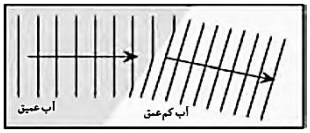
**شکست** وقتی رخ می‌دهد که جهت پیشروی موج در ورود به یک محیط جدید تغییر کند. شکست برای امواج مکانیکی نیز رخ می‌دهد

❖ رنگ‌های رنگین‌کمان، تصویری که با کمک عینک می‌بینیم، تصاویری که با استفاده از عدسی های ابزارهای نوری مانند میکروسکوپ و دوربین دیده می شود، و ...
مثال‌های رایجی از شکسته شدن موج‌های نوری در پیرامون‌ما است. این پدیده برای امواج صوتی نیز رخ می‌دهد ولی به اندازهٔ موج های نوری اهمیت ندارد..

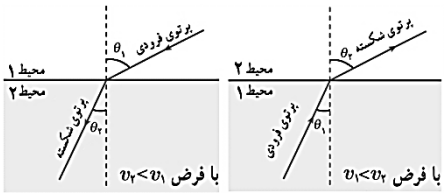
❖ امواج نه تنها با محیط بلکه با یکدیگر نیز برهم کنش می‌کنند. **تداخل** نمونه ای از برهم کنش امواج با یکدیگر است.

عبور یک تپ در طول طنابی را در نظر بگیرید که از دو بخش، یکی نازک و دیگری ضخیم، تشکیل شده است (شکل الف). وقتی این تپ از سمت بخش نازک به مرز دو بخش می رسد، بخشی از این تپ باز می‌تابد و بخشی دیگر عبور می‌کند (شکل ب). برای یک موج سینوسی بسامد این دو موج همان بسامد موج فرودی است که توسط چشمهٔ موج تعیین می‌شود. بنابراین موج عبوری که تندی آن در قسمت ضخیم کمتر است، بنا به رابطهٔ $V=\lambda/f$ طول موج کمتری نسبت به موج فرودی خواهد داشت.




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. تندی امواج روی سطح آب به عمق آن بستگی دارد. با ورود موج به بخش کم عمق، تندی موج سطحی کاهش می‌یابد. روشن است، آن بخش موج که زودتر به ناحیهٔ کم عمق 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 در مرز دو ناحیه تغییر جهت می‌دهند .



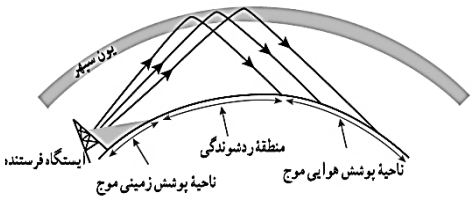

**قانون شکست عمومی:** برای جبهه‌های موج تختی به طور مایل به مرز دو محیط می‌رسند و سپس شکست پیدا می کنند، رابطهٔ زیر برقرار است که به آن **قانون شکست عمومی** می‌گویند

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

اگرموجی از محیطی که در آن تندی موج کمتر است وارد محیطی شود که در آن تندی موج بیشتر است، زاویهٔ شکست بزرگ تر از زاویهٔ تابش می‌شود و برعکس یعنی اگر سرعت موج در محیط دوم کمتر باشد زاویه‌ی شکست کوچکتر از زاویه‌ی تابش می‌شود.

**شکست امواج الکترومغناطیسی:** یک موج پر قدرت رادیویی، با بسامد بین ۳ تا ۳۰ مگاهرتز، به لایهٔ یون سپهر(یونسفر) بالای جو که در ارتفاع ۸۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتری سطح زمین واقع است فرستاده می‌شود. این لایه به علت وجود یون‌ها و الکترون‌های آزاد، پلاسمایی را ایجاد می‌کند.

**یون سپهر(یونسفر) چه امواجی را عبور میدهد وچه امواجی را بازتاب میدهد؟ چرا؟** یون سپهر در حالی که نور مرئی و تابش فروسرخ را عبور می‌دهد، امواج رادیویی با طول موج‌های بلند (با $\lambda$ی بزرگ‌تر از حدود ۱۰m را که در جهت‌های مناسبی به سوی این لایه ارسال شده باشند، به طرف زمین برمی‌گرداند. دلیل این اتفاق، یکنواخت نبودن چگالی الکترون‌های آزاد در این لایه و در نتیجه، تفاوت تندی امواج رادیویی در قسمت‌های مختلف آن است، به طوری که در سازوکاری مانند پدیدهٔ سراب، امواج را به سمت پایین باز می‌گرداند.

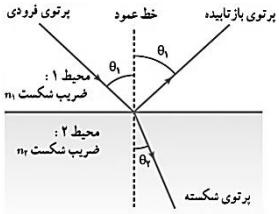



**ضریب شکست:** برابر با نسبت تندی نور در خلأ به تندی نوردر یک محیط است:

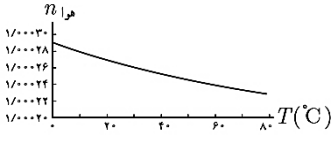
$$n=\frac{\text{تندی نور در خلا}}{\text{تندی نور دریک محیط}}=\frac{c}{v}$$

چون تندی نور در خلأ بیشترین تندی ممکن است، ضریب شکست همواره بزرگ‌تر یا مساوی ۱ است (که ۱ مربوط به خلأ است.)

**قانون شکست اسنل** $n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$ در حالت کلی: $\frac{sin\theta_2}{sin\theta_1}=\frac{V_2}{V_1}=\frac{n_1}{n_2}$




**سراب:** در روزهای گرم هوای سطح زمین نسبتا داغ است. چگالی هوا با افزایش دما کاهش می‌یابد که این سبب کاهش ضریب شکست می شود. با پایین آمدن هر چه بیشتر پرتوهای نظیر جبهه‌های موج، آنها با ضریب شکست‌های کوچک‌تر و کوچک‌تری روبه‌رو می‌شوند و در هرمرحله با دور شدن از خط عمود، بیشتر و بیشتر به سمت افق و در ادامه به سمت بالا خم می شوند. نوری که به چشم ما می‌رسد، به نظر می‌آید از امتداد پرتوهای نشان داده شده است و این حس را ایجاد می‌کند که گویی از تصویری از جسم (مثلا درخت) بر روی سطح زمین ایجاد شده است. چون این اتفاق وقتی می‌افتد که آب روی زمین است، تصور می‌شود آب روی زمین است.

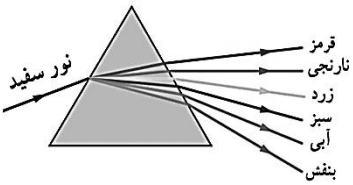


Edited with the demo version of Infix Pro PDF Editor
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

@jozveh_nub

@jozveh_nub

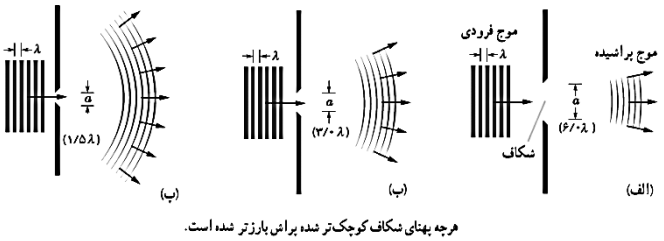





**پاشندگی نور:** وقتی باریکهٔ نور سفید خورشید به وجهی ازیک منشور می‌تابد، در عبور از منشور به رنگ‌های مختلفی تجزیه می‌شود. دلیل این پدیده آن است که ضریب شکست هر محیطی به جز خلأ به طول موج نور بستگی دارد. یعنی وقتی باریکهٔ نوری شامل پرتوهایی با طول موج های مختلف باشد، این پرتوها هنگام عبور از مرز دو محیط در زاویه‌های مختلفی شکسته می‌شوند. به این پخش شدگی نور، **پاشندگی نور** می گویند.

عموماً ضریب شکست یک محیط معیّن برای طول موج های کوتاه تر، بیشتر است. اگر مثلاً دو باریکهٔ نور آبی و قرمز با زاویهٔ تابش یکسانی از هوا وارد شیشه شوند باریکهٔ آبی بیشتر از باریکهٔ قرمز خم می شود.

**پراش موج:**در صورتی که ابعاد مانع یا شکاف در حدود طول موج باشد، بخشی از موج که از لبه‌ها یا شکاف ها عبور می‌کند، به وضوح به اطراف مانع یا شکاف گسترده می‌شود. به این پدیده که موج در عبور از یک شکاف یا پهنایی از مرتبهٔ طول موج، به اطراف گسترده می‌شود، **پراش** می‌گویند. پراش برای همهٔ انواع موج اتفاق می‌افتد. 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 لبه های شکاف مشاهده می‌کنیم.

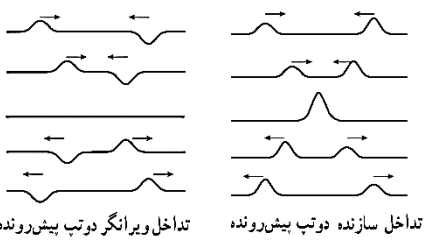



**تداخل امواج**

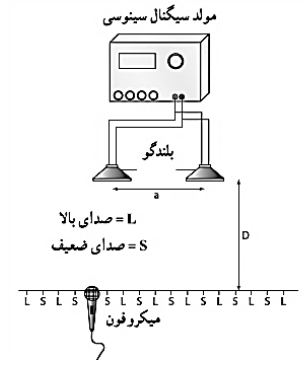
**اصل برهم نهی امواج** : وقتی چندین موج به طور هم زمان بر ناحیه‌ای از فضا تأثیر بگذارند، اثر خالص آنها برابرمجموع اثرهای مجزای هر یک از آنها است.

به ترکیب موجها با یکدیگر، **تداخل** می‌گویند. به بیان دیگر تداخل، ترکیب دو یا چند موج است که هم زمان از یک منطقه عبور می‌کنند.

❖ اگر تپها هنگام همپوشانی تپ بزرگ‌تری را ایجاد کنند به آن **تداخل سازنده** می‌گویند، و اگر تپها هنگام همپوشانی اثر یکدیگر را حذف کنند به آن **تداخل ویرانگر** می‌گویند.

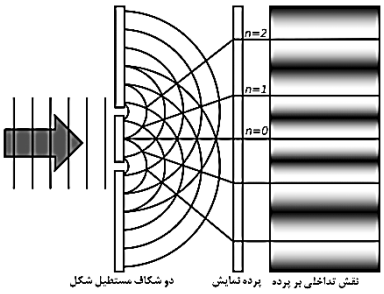



**تداخل امواج سطحی آب:** دو دسته موج دایره‌ای در سطح آب وقتی به هم می‌رسند، در برخی نقاط همدیگر را تقویت می‌کنند و تداخل سازنده انجام می‌دهند و در برخی نقاط همدیگر را تضعیف می‌کنند و تداخل ویرانگر انجام می‌دهند. به این ترتیب، در برخی نواحی روی سطح آب دامنهٔ موج برایند بیشینه و در برخی ناحیه ها، کمینه است. چنین نقش متناوب یک درمیانی از بیشینه ها و کمینه ها را نقش تداخلی امواج سطحی آب می‌نامیم.



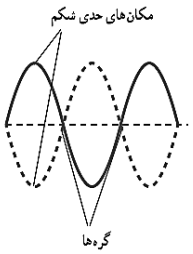

**تداخل امواج صوتی:** امواج صوتی نیز می‌توانند تداخل کنند. دو بلندگو که به یک مولدّ سیگنال الکتریکی متصل‌اند امواج سینوسی هم بسامدی را در فضا منتشر می‌کنند. با حرکت دادن میکروفون در امتداد خط فرضی نشان داده شده در شکل که در فاصلهٔ مناسبی از بلندگوها قرار دارد درمی‌یابیم که بلندی صدا به طور متناوب کم و زیاد می‌شود. علت این پدیده براساس تداخل‌های سازنده و ویرانگر امواج صوتی توضیح داده می‌شود.

**تداخل امواج نوری:** توماس یانگ طور تجربی ثابت کرد نور یک موج است. زیرا نور نیز مانند موجهای سطحی آب، موج‌های صوتی و همهٔ انواع موج های دیگر تداخل می‌کند.




**آزمایش یانگ**: نور حاصل از یک چشمهٔ تکفام بر تک شکافی می‌تابد و دو شکاف $S_1$ و $S_2$ را روشن می‌کند. موج‌های حاصل از پراش نور توسط این دو شکاف با یکدیگر تداخل می‌کنند. روی پرده، نقطه‌های با تداخل سازنده، نوارها یا فریزهای روشن را تشکیل می‌دهند و نقطه‌های با تداخل ویرانگر نوارها یا فریزهای تاریک را تشکیل می‌دهند. نوارهای روشن و تاریک روی پرده که ناشی از تداخل های سازنده و ویرانگرند، **نقش تداخلی** خوانده می‌شود. با استفاده از آزمایش یانگ می‌توان طول موج نور به کار رفته درآزمایش را تعیین کرد.

**موج ایستاده و تشدید در ریسمان کشیده:** وقتی موج بازتابیده از انتهای ثابت با موج تابیده ترکیب شوند موجی برایند ایجاد می‌کنند که شکل آن از اصل برهم نهی حاصل می‌شود. مکان‌هایی در طول ریسمان که در اثر تداخل ویرانگر ساکن هستند، **گره** نامیده می‌شوند و مکانهایی که دامنهٔ موج برایند دراثر تداخل سازنده بیشینه است، را **شکم** می‌گویند. نقش موج برایند را در این حالت، **موج ایستاده** می‌گویند.




❖ فاصلهٔ گره‌های مجاور از هم برابر با نصف طول موج ( $\lambda/2$ ) و بنابراین فاصلهٔ گره‌ها از شکم های مجاور برابر با ربع طول موج ( $\lambda/4$ ) است.

❖ همیشه موج‌های تابیده و بازتابیده در محل گره‌ها یکدیگر را حذف می‌کنند (تداخل ویرانگر) 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

Edited with the demo version of Infix Pro PDF Editor
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

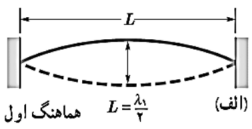
@jozveh_nub

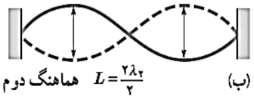
@jozveh_nub

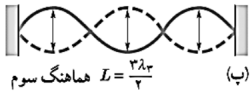


تقویت می‌کنند (تداخل سازنده). در این حالت اصطلاحاً می‌گوییم این دو موج در این نقاط **هم‌فاز**ند.

**بسامدهای تشدید تار:** در یک تارکشیده شده، دربسامدهای معیّنی، تداخل موجب ایجاد موج ایستادهٔ مشخص یاً یک مُدِ نوسان در تار می‌شود. این بسامدهای معیّن **بسامدهای تشدیدی** خوانده می‌شوند. اگر تار در بسامدی غیر از بسامدهای تشدیدی نوسان کند موج ایستادهٔ بارزی ایجاد نمی‌شود.




(طول موج های تشدیدی تار) $L = n\left(\frac{\lambda_n}{2}\right) \xrightarrow{n=1,2,3,....} \lambda_n = \frac{2L}{n}$

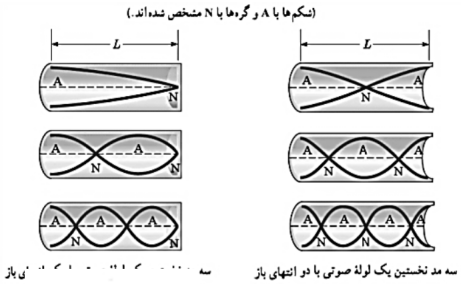
(بسامدهای تشدیدی تار) $f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L}$ n=۱،۲،۳ ،....

اگر بجای $v$ رابطه‌آن را قرار دهیم: $f_n = \frac{nv}{2L} = \frac{n}{L}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$

اختلاف بسامد دو هماهنگ متوالی برابر با بسامد هماهنگ اصلی است:

$$f_n = nf_1 \quad , \quad f_{(n+1)} = (n+1)f_1 \quad \Rightarrow \quad \Delta f = f_1$$

مدهای نوسان را با بسامدهای تشدیدی مشخص می‌کنند. پایین‌ترین بسامد را که مربوط به n=۱ است، بسامد اصلی و مد مربوط به آن را مد اصلی یا هماهنگ اول می‌گویند. بسامد هماهنگ دوم به ازای n=۲ بسامد هماهنگ سوم به ازای n=۳ و ... به دست می‌آید. به n **عدد هماهنگ** گفته می‌شود.




**موج ایستاده و تشدید در لوله های صوتی:** وقتی موج های صوتی درهوای درون لوله حرکت می کنند، از هر انتها بازمی تابند و به درون لوله بازمی گردند، حتی اگر آن انتها باز باشد. اگر طول لوله مضرب های معیّنی از طول موجِ موج صوتی باشد، برهم نهی موج های پیش رونده در جهت های مخالف، نقش موج ایستادهٔ بارزی را در لوله ایجاد می‌کند. مانند تار در لوله‌های صوتی هم فاصلهٔ گره‌های مجاور از هم برابر با نصف طول موج ( $\lambda/2$ ) و بنابراین فاصلهٔ گره‌ها از شکم های مجاور برابر با ربع طول موج ( $\lambda/4$ ) است.

**تشدید در بطری و تشدیدگر هلمهولتز:** یک بطری مانند یک لولهٔ صوتی با یک انتهای باز است که بسامدهای تشدیدی معیّنی دارد. وقتی در دهانهٔ یک بطری می‌دمیم گستره 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. 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 می دهد.

@jozveh_nub