

اهداف آموزشی:

- 1\_ دانش آموزان با مفاهیم اساسی موضوعات (فریکونسی, پریود, انعکاس موج میخانیکی, انکسار یا شکست موج میخانیکی, تداخل, تابع انتشار موج, تداخل موجها, امواج صوتی, صدا و مشخصات آن, تولید نمودن امواج صوتی, سرعت صوت, سرعت صوت در هوا) آشنایی کامل دریافت کند.
- 2\_ دانش آموزان با موارد استفاده از موج و صوت آگاهی کامل کسب نمایند.
- 3\_ دانش آموزان باید با اهمیت موضوعات مطرح شده آشنا شوند و بتوانند در زندگی روزمره شان تطبیق نمایند.

بخش اول: موج چیست و چند قسم است؟

هر حرکتی که ذرات اهتزازی، انرژی حرکتی خویش را به صورت دوام دار به ذره مجاور داده و آن را به نوسان در آورد، این حرکت را بنام حرکت موجی یاد می کند. این عملیه در محیط متجانس و استقامت مقابل ادامه پیدا می کند،



(شکل 1)

تازمانی که با تصادم به یک مانع، انرژی خود را از دست داده و در محیط جذب شود، هر موج خصوصیات مشخص دارد و آن عبارت از طول موج، فریکونسی، دامنه اهتزاز ذرات و سرعت می باشد. امواج از نظر خصوصیات فزیک به دو بخش تقسیم شده است.

1. امواج میخانیکی

این نوع امواج برای انتشار نیاز به محیط مادی دارند، موج های آب، موج های صوتی و موج های زلزله نمونه ای از موج های میخانیکی هستند.

2. امواج الکترومقناطیسی

این نوع موجها علاوه در محیط های مادی در محیط های غیرمادی (خلا) نیز منتشر می شوند، به صورت نمونه موج های نوری ستاره ها در فضا از خلا عبور می کنند تا به ما برسد.

یک تعداد مشخصات معین فزیک است که در هر دو نوع امواج موجود است، نمونه آن موج در محیط متجانس به خط مستقیم منتشر می گردد. هر موج، طول موج فریکونسی و پریود مشخص دارد. هر موج سرعت انتشار خاصی دارد که به کثافت محیط انتشار مرتبط می باشد. این که موجودات زنده می شنوند و می بینند، که پروسه ها و میکانیزم شنیدن صداها و زلزله بر می خیزند و دیگر پدیده های طبیعی، شکل های از امواج اند. به همین سبب ساینس دانان از قانون مندی های طبیعت در تخنیک استفاده نموده آن را به خدمت انسان ها استعمال می نمایند.

امواج میخانیکی (Mechanical Waves) :

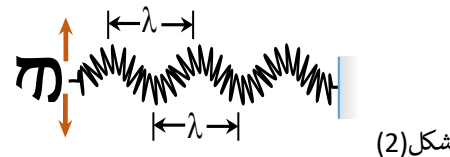
اگر در یک قسمت یک محیط متجانس اختلال وارد شود، پس در مالیکول ها یا ذرات این محیط قوه های کشش به وجود می آید و این قوه ها بدون این که موقعیت قسمت های محیط را تغییر بدهد، به ساختارهای مادی مجاور خود انرژی می دهند و در نتیجه موج در محیط منتشر می گردد، در طبیعت امواج میخانیکی در دندها، روی آب های ایستاده به وضاحت معلوم می شود.

در یک محیط متجانس سرعت موج میخانیکی در رابطه  $x = vt$  صدق می کند، می بینید که در این رابطه فاصله انتشار طول موج تابع وقت به شکل خطی می باشد. پس جهت انتشار، یک شکل خطی را دارد. چگونگی انتشار امواج میخانیکی به کثافت و خصوصیات فزیک محیط ارتباط دارد. اگر اختلال محیط به شدت انجام گردد، امواج به وجود آمده هم بسیار بلند و عمیق می باشد. موضعی که اختلال در آن به وجود می آید، منبع انتشار موج نامیده می شود.

امواج میخانیکی در رابطه با جهت انتشار و چگونگی اهتزاز اجزای محیط به سه بخش تقسیم گردیده است که امواج طولی، امواج عرضی و موج های ایستاده نامیده می شوند.

امواج عرضی (Transverse wave) :

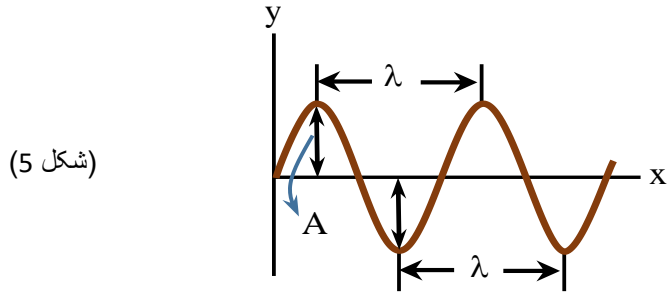
در امواج عرضی سمت اهتزاز به جهت انتشار موجها عمود است و یا امواج که در اثر تکان دادن فنر به دو طرف چپ و راست نیز به وجود می آید و گراف آن مشابه به گراف sin است. مانند شکل (2)



امواج طولی (Longitudinal wave) :

امواجی است که در آن جهت انتشار موج در جهت انتشار نوسان ذرات محیط موازی باشد، در نگاره زیر یک موج طولی را می بینید که در اثر حرکت رو به پیش و رو به عقب دست، در یک فنر منتشر می شود. حلقه های فنر به طور مرتب به هم نزدیک و از هم دور می شوند وقتی به هم نزدیک می شوند یک ناحیه ی تراکمی ایجاد می شود و وقتی که از هم دور می شود یک ناحیه ی انبساطی به وجود می آورد.

طول موج مشخصه شناخت یک موج است و واحد اندازه‌گیری آن همان واحد اندازه‌گیری طول است. موج‌ها از قیمت‌های بسیار کوچک مانند انگستروم ( $A^\circ$ ) گرفته تا کیلومتر ( $km$ ) طول دارند. از نگاه نوعیت هم امواج عرضی و هم موج‌های طولی هر دو دارای طول موج هستند.



(شکل 5)

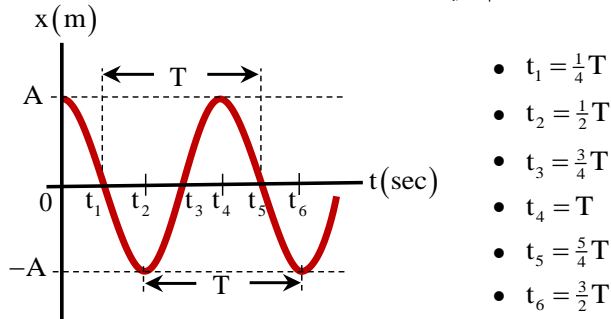
معادله ریاضی حرکات موجی، تابع  $\sin$  یا  $\cos$  بوده و مربوط به این است که مبدای انتشار موج از کدام نقطه مسیر این تابع  $\sin$  حساب می‌گردد. اگر مبدای انتشار یک موج برای یک ماده را تحت بررسی قرار دهیم و باز در مسیر انتشار قسمی یک نقطه مادی را نزدیک به نقطه دومی تعیین که این دو نقطه نزدیک با هم دیگر از نگاه داشتن انرژی با هم مساوی باشند، در آن صورت کوتاه ترین فاصله بین این نقطه‌ها که یک مستقیم است بنام طول موج یاد می‌شود و یا به عبارتی دیگر فاصله‌ی را که موج در زمان یک پریود طی می‌نماید طول موج می‌گویند. که به نماد لاتین  $\lambda$  نشان داده می‌شود. در طبیعت طول موج‌های مختلف و متفاوت وجود دارد، و می‌توانیم چنین امواج را به صورت مصنوعی نیز ایجاد نماییم که طول موج‌های آن‌ها با هم مساوی و یا مقابل هم باشند.

### تواتر یا فریکوئسی (Frequency) :

طوری که قبلاً گفتیم، که اندازه اهتزازات موجی در واحد زمان فریکوئسی نامیده می‌شود، که با (Symbol) یا نماد  $f$  نشان داده می‌شود. واحد فریکوئسی هرتز (Hertz) است و با نماد (Hz) نمایش داد می‌شود، تمام امواج طبیعی الکترومقناطیسی و میخانیکی به همین واحد اندازه می‌شوند.

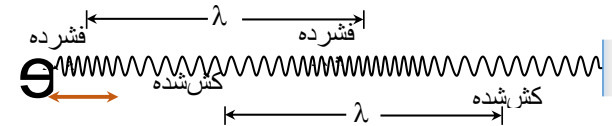
### زمان تناوب یا پریود (Period) :

می‌دانیم که همه حوادث طبیعی در زمان صورت می‌گیرد، و هیچ پدیده‌ی احساس شده نمی‌تواند که خارج از فکتور زمان واقع شده باشد. پس زمان تناوب عبارت از زمانی است که موج یک اهتزاز مکمل را انجام می‌دهد که بنام پریود نیز یاد می‌شود.



(شکل 6)

- $t_1 = \frac{1}{4}T$
- $t_2 = \frac{1}{2}T$
- $t_3 = \frac{3}{4}T$
- $t_4 = T$
- $t_5 = \frac{5}{4}T$
- $t_6 = \frac{3}{2}T$

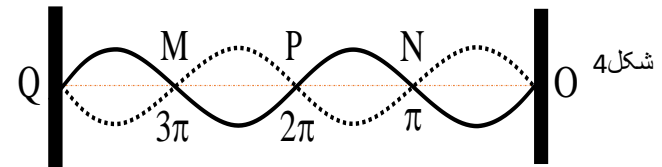


شکل 3

یادداشت: در مورد امواج طولی، میتوان گفت: فریکوئسی موج برابر تعداد تراکم‌ها (انبساط نهایی) است که در واحد زمان از یک نقطه عبور می‌کند. و باید گفت که انتشار زلزله‌ها هم عرضی و هم طولی بوده می‌توانند. موج‌های زلزله از عمق زمین بلند شده و بعد از بر روی زمین می‌رسند. نظر به نوع موج زلزله و سرچشمه بلند شدن موج زلزله، سرعت انتشار زلزله‌ها با هم متفاوت است.

### امواج ایستاده (Stationary wave) :

امواج ساکن به خاطری این نام داده است، که مانند امواج دیگر در محیط انتشار نمی‌کنند. این امواج از اثر دو موجی که دارای فریکوئسی مساوی بوده و یکی در جهت مخالف دیگر انتشار می‌یابد به وجود می‌آیند. مانند تارهای مرتعش آلات موسیقی مثل دوتار، سه‌تار، تنبور و ریاب هنگام نواختن (سازکردن) به اساس تولید همین امواج ساکن کار می‌کنند.



شکل 4

ما می‌توانیم نمونه موج ساکن را به واسطه موجی که از یک ریسمان به وجود می‌آید نمایش دهیم، و ضربه دست در سر ریسمان یکی پی دیگر چنان امواج متواتر را به وجود آورد که فریکوئسی آن‌ها با هم مساوی و یکی از دیگر به اندازه  $\pi$  تفاوت فاز داشته باشد. (فاز زاویه‌ی است که اندازه پیش بودن و عقب بودن ذره اهتزاز را ارائه می‌دارد). مانند شکل 2، وقتی که موج اولی از انتهای ریسمان بسته شده انعکاس نموده و بر می‌گردد و به نقطه N می‌رسد، موج متواتر بعدی به نقطه که ریسمان در آن محکم گردیده می‌رسد و با موج در نقطه N یک گره یا عقده را به وجود می‌آورد و در نتیجه در بین خطوط منحنی  $NO$  و  $ON$  بطن می‌سازد، گره‌ها و بطن‌ها در امواج تا آن وقت به وجود می‌آیند که انرژی حرکی و پاتنشیل امواج در محیط غیر منظم شده و جذب گردد.

### خصوصیات امواج :

باید بدانیم که یک موج مشخص، مانند یک اهتزاز برای شناسایی اش خصوصیات مانند: طول موج، فریکوئسی موج، وقت تناوب و یا زمان موج واحد (پریود)، مودل ریاضی، معادله حرکت یا انتشار موج دارد، که در این جا هر یک آن‌ها را به طور مشخص مطالعه می‌کنیم.

### طول موج (Wavelength) :

یادداشت: نسبت سرعت‌ها با نسبت طول‌های موج معکوساً متناسب است.

مثال 1. دو تناب از یک ماده که شعاع سطحی مقطع یکی 3 برابر دیگری است، در یک نقطه به هم گره خورده و طناب مرکب را میان دو نقطه بسته‌ایم، نوسان‌های با طول موج  $\lambda = 45\text{cm}$  در طناب نازک ایجاد می‌کنیم، طول موج ایجاد شده در طناب ضخیم چند سانتی‌متر است. حل.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \Rightarrow \frac{3v_2}{v_2} = \frac{45\text{cm}}{\lambda_2} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{45\text{cm}}{3} = 15\text{cm}$$

مثال 2. اگر سرعت انتشار موج‌های حاصل از یک منبع ارتعاشی در آب 4 برابر سرعت انتشار آن در هوا باشد، طول موج در هوا چند برابر طول موج در آب است.

حل. اگر سرعت موج و طول موج در هوا به  $v_1$  و  $\lambda_1$  نشان داده شود پس:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{4v_1} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{1}{4}$$

مثال 3. سرعت انتشار موجی  $20\text{m/s}$  و فریکونسی آن  $50\text{Hz}$  است، کم‌ترین فاصله دو نقطه که در جهت انتشار موج قرار دارند و با یکدیگر هم‌فاز اند، چند سانتی‌متر است؟ حل.

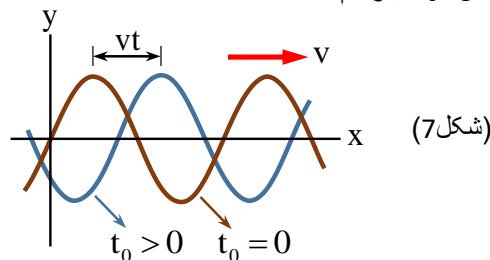
$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{20\text{cm/s}}{50\text{Hz}} = 0.4\text{m} \Rightarrow \lambda = 40\text{cm}$$

مثال 4. سرعت انتشار موج در یک محیط  $40\text{m/s}$  و طول موج آن  $2\text{cm}$  است، طول موج در محیط دیگری که سرعت موج در آن  $50\text{m/s}$  است، چند سانتی‌متر خواهد بود؟ حل.

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \frac{2\text{cm}}{\lambda_2} = \frac{40\text{m/s}}{50\text{m/s}} \Rightarrow \lambda_2 = 2.5\text{cm}$$

#### تابع انتشار موج :

اگر خصوصیات فیزیکی نقاط اهتزازی موج را به جهت انتشار آن و این نقاط را از منبع انتشار موج به تابع زمان مشخص کرده بتوانیم،



در شکل 6 ارتباط بین زاویه‌های محیطی دایره و پرپود را با سپری شدن زمان مورد بررسی قرار می‌دهیم، زاویه برای یک دوران مکمل،  $\varphi = 2\pi$  بوده و وقت مربوط به این دوران،  $(T)$  می‌باشد، پس برای سرعت زاویه‌ی نوشته می‌توانیم که  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ، اگر به طور مشابه، این رابطه را برای موج بنویسیم. پس در حقیقت سرعت اهتزاز موجی که بعد از یک پرپود یعنی  $(T)$ ، بر طول یک موج  $\lambda$  از دو نقطه هم‌فاز، عبور می‌نماید، عبارت از  $v = \frac{\lambda}{T}$  است.

مثال 1. موج عرضی با فریکونسی  $2.5\text{Hz}$  در سطح آب تولید شده و با سرعت  $0.5\text{m/s}$  منتشر می‌شود، فاصله بین دو قله‌ی متوالی موج چند سانتی‌متر است؟ حل.

$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{0.5\text{m/s}}{2.5\text{Hz}} = \frac{1}{5}\text{m} = \frac{100}{5}\text{cm} \Rightarrow \lambda = 20\text{cm}$$

مثال 2. در طول ریسمانی موج‌های ساینی با سرعت  $2.4\text{m/s}$  منتشر می‌شود، اگر طول موج  $1.2\text{m}$  باشد، فریکونسی آن چند سانتی‌متر است؟ حل.

$$f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow f = \frac{2.4\text{m/s}}{1.2\text{m}} = 2\frac{1}{\text{s}} = 2\text{Hz}$$

#### انعکاس موج میخانیکی (Reflection of Waves) :

اگر بربل یک دریا موج‌های آب دریا را به دقت دیده باشید، حتماً متوجه شده اید، وقتی که موج‌های آب به ساحل دریا برخورد می‌کند، ابتدا به کناره‌های خشکه بلند رفته و بعد از تصادم بربل‌های دریا دوباره به شکل موج به طرف دریا بر می‌گردد، که بعد از تصادم با موج‌های تازه از بین می‌رود، این که موج بعد از تصادم باز هم به شکل موج به طرف دریا می‌رود، به این حادثه، انعکاس موج گفته می‌شود. انعکاس صدا ثبوت روشنی برای پدیده انعکاس امواج میخانیکی بود می‌تواند. و باید گفت که در هر حالت انعکاس، محیط حرکت موج تغییر نمی‌کند، فقط موج، بعد از برخورد با یک مانع یا جسم سخت دوباره به روی مسیر قبلی خود بر می‌گردد.

#### انکسار موج میخانیکی (Refraction of wave) :

در انکسار نور وقتی که امواج نوری از یک محیط متجانس شفاف به محیط دیگر شفاف داخل می‌شوند، مسیر انتشارش را در محیط دوم تغییر می‌دهند، که به این عملیه شکستن یا انکسار نور می‌گویند، خصوصیات موج‌های الکترومقناطیسی شعاع نوری و موج‌های میخانیکی هر دو در این عملیه یکسان بوده، هنگامی که از یک محیط متجانس به محیط دیگر داخل می‌گردند، می‌شکنند و مسیر اصلی خود را تغییر می‌دهند. باید گفت که خواص امواج میخانیکی علاوه بر ساختار و کثافت محیط، به فشار محیط انتشار و پارامترهای مربوط به آن هم ارتباط دارد، یک خصوصیت عمده این رابطه این است که سرعت تنها به طول موج ارتباط دارد، و فریکونسی هرگز تغییر نمی‌کند. و رابطه بین سرعت، طول موج و فریکونسی در دو محیط را طور ذیل نشان می‌دهیم.

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow \begin{cases} v_1 = \lambda_1 \cdot f \\ v_2 = \lambda_2 \cdot f \end{cases} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}, f = \text{const}$$

$$\left. \begin{aligned} y_M &= a \sin(\omega t - kx) \\ y_M &= 0.02 \sin(500t - 50\pi x) \end{aligned} \right\} a = 0.02m, \omega = 500 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow 500 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{\pi}{250} \text{sec}$$

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow f = \frac{1}{0.004 \text{sec}} = \frac{250}{\pi}$$

$$k = \frac{\omega}{v} \Rightarrow 50\pi = \frac{500 \text{rad/s}}{v} \Rightarrow v = \frac{500}{50\pi} \text{m/s} = \frac{10}{\pi} \text{m/s}$$

مثال 3. منبع موجی در هر ثانیه 20 نوسان کامل انجام می‌دهد، و امواج حاصل با سرعت ثابت در یک محیط منتشر می‌شوند، اگر عدد موج  $40\pi$  رادیان بر متر باشد، سرعت انتشار موج چند متر بر ثانیه است.

حل.

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow \omega = 2\pi \times 20 \frac{1}{\text{s}} = 40\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$v = \frac{\omega}{k} \Rightarrow v = \frac{40\pi \text{rad/s}}{40\pi \text{rad/m}} = 1 \text{m/s}$$

مثال 4. تابع موجی در طول یک طناب به صورت  $y_M = a \sin(50\pi t - \pi x)$  در سیستم SI داده شده است، سرعت انتشار موج در آن چند  $\text{m/s}$  است.

حل.

$$\left. \begin{aligned} y_M &= a \sin(\omega t - kx) \\ y_M &= a \sin(50\pi t - \pi x) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \omega = 50\pi \text{rad/s}, k = \pi \text{rad/m}$$

$$v = \frac{\omega}{k} \Rightarrow v = \frac{50\pi \text{rad/s}}{\pi \text{rad/m}} = 50 \text{m/s}$$

### تداخل موج‌ها (Interference of waves) :

برای این که بین دو موج تداخل صورت گیرد، شرط نخست باید دو منبع تولید امواج در یک محیط باشد، و شرط دوم این که پریود اهتزاز و دامنه‌ی موج‌های ایجاد شده باید مساوی باشند. اغلباً اتفاق می‌افتد که دو یا چند موج به طور هم‌زمان از ناحیه عبور می‌کند، به طور مثال وقتی به صدای یک موسیقی گوش می‌دهیم، موج‌های صوتی حاصل از سازمان‌های گوناگون به طور هم‌زمان به پرده گوش ما می‌رسند. و انتشار یک صوت مانع انتشار صوت‌های دیگر نمی‌شود، این مثال نشان دهنده اصلی به نام اصل تداخل است. بنابراین اصل هر موج در حال انتشار، بدون آن که برای انتشار سایر موج‌ها مزاحمتی ایجاد کند، از آن عبور کرده و به انتشار خود ادامه می‌دهد، درست مانند آن که هیچ موجی دیگری در محیط منتشر نمی‌شود، در نقطه‌ی که دو و یا چند موج با هم تلاقی می‌کنند، تغییر مکان ذره‌ی از محیط که در آن نقطه است، برابر محیط تغییر مکان هر یک از موج‌ها است. باید دانست که در حالتی که موج‌ها نوسان‌های هم جهت ایجاد کنند، جمع وکتوری بالای هم معادل جمع الجبری آن می‌شود.

پس به چنین تابعی، تابع خصوصیت اهتزازی موج گفته می‌شود. تابع موج ساده  $y = a \cdot \sin \varphi$ ، در این جا  $\varphi$  زاویه‌ی است که در زمان اختیاری ( $t$ ) به سرعت معین طی می‌گردد، البته با قیمت‌های مختلف  $t$ ، موقعیت نقطه اهتزاز را نظر به منبع موج (نقطه O) مشخص می‌کنند.

اگر در رابطه فوق قیمت  $\varphi = \omega t$  را نظر به موقعیت (O) وضع کنیم، پس نوشته کرده می‌توانیم که:

$$y_0 = a \cdot \sin \omega t = a \cdot \sin \frac{2\pi}{T} \cdot t$$

اکنون می‌خواهیم موقعیت فیزیکی اهتزازی یک نقطه کیفی M را از نقطه اهتزازی O حاصل نماییم، فرضاً نقطه M با تأخیر زمان  $t_M = \frac{x}{v}$  از نقطه O به اهتزاز آغاز نماید، در این حالت آغار اهتزاز M عبارت از  $(t - t_M)$  خواهد بود. پس داریم که:

$$y_M = a \cdot \sin \frac{2\pi}{T} (t - t_M) = a \cdot \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{x}{v} \right)$$

با گذاشتن قیمت  $\lambda = vT$  در رابطه فوقانی داریم که:

$$y_M = a \cdot \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \vee y_M = a \cdot \sin(\omega t - kx)$$

در رابطه فوقانی دامنه  $a$ ، سرعت زاویه‌ی که برابر به  $\frac{2\pi}{T}$  هست و  $k$  که مساوی به  $\frac{2\pi}{\lambda}$  هست، به نام عدد موج یاد می‌شود. و  $x$  را فاصله اهتزاز بین نقاط اهتزازی O و M می‌گویند.

رابطه اخیر، موقعیت یک نقطه اهتزازی کیفی را نظر به موقعیت O ارائه می‌کند، هم چنان اگر هم فازهای مشخص  $A, A', A'', \dots$  و نقاط دیگر اهتزازی نظر به O را در نظر بگیریم، چنین موقعیت‌ها از رابطه  $k\lambda$  حاصل شده می‌تواند، که اگر  $k = 1, 2, 3, \dots$  را به خود قیمت بگیرد.

یادداشت: برای همیشه فاصله بین ذراتی اهتزازی هم فاز باهم مساوی و برابر به طول موج است.

اکنون قسمی در نظر می‌گیریم، که یک ذره اهتزازی از نقطه O به اندازه  $\frac{\lambda}{2}$  فاصله دارد، فرض کنید که این ذره اهتزازی در نقطه C قرار دارد. ذره اهتزازی C به اندازه  $\pi$  تفاوت فاز دارد، وقتی که یک اهتزاز مکمل را طی می‌کند، از مبدأ به اندازه  $\lambda + \frac{\lambda}{2}$  فاصله دارد. پس موقعیت اهتزاز این ذرات از نقطه O توسط رابطه  $\frac{\lambda}{2} (2k + 1)$  نشان داده می‌شود، که در این جا  $k = 0, 1, 2, \dots$  است، با قرار دادن قیمت‌های داده فاصله‌ها  $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \dots$  خواهد گردید.

مثال 1. تابعی موجی که در جهت محور  $x$  منتشر می‌شود، در SI به صورت  $y_M = 0.02 \sin(20\pi t - 4\pi x)$  داده شده است، طول موج و سرعت انتشار موج را حساب کنید.

حل.

$$\left. \begin{aligned} y_M &= a \sin(\omega t - kx) \\ y_M &= 0.02 \sin(20\pi t - 4\pi x) \end{aligned} \right\} k = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow 4\pi = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = 0.5m$$

$$k = \frac{\omega}{v} \Rightarrow 4\pi = \frac{20\pi}{v} \Rightarrow v = 5m/s$$

مثال 2. معادله‌ی موجی در SI به صورت  $y_M = 0.02 \sin(500t - 50\pi x)$  است، نوعیت این موج، دامنه، سرعت زاویه‌ی، زمان تناوب، فریکونسی و سرعت انتشار آن را دریابید.

حل. چون نوسان در جهت محور  $y$  و انتشار آن در جهت محور  $x$  است، پس موج عرضی می‌باشد.

انسان‌ها امواج صدا از اهتزاز تارهای صوتی حنجره آن‌ها بلند می‌شوند، که در جانب مقابل به شکل امواج طولی انتشار می‌یابد، که موج‌های صوتی مانند: امواج طولی دیگر انعکاس و انکسار می‌نمایند.

### سرعت صوت در گازات :

می‌دانیم که امواج صوتی در محیط الاستیکی (ارتجاعی) منتشر می‌گردد، خصوصیت الاستیکی محیط گازی به خواص دینامیکی آن مربوط است، پارامترهای دینامیکی محیط گازی به درجه حرارت، فشار و حجم ارتباط دارد، که در گازهای کامل، سرعت صوت ذریعه فورمول لاپلاس به دست می‌آید، و آن این است.

$$v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{P}{\rho}}$$

در فورمول فوقانی P فشار گاز،  $\rho$  کثافت گاز و  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  از نسبت ظرفیت مخصوصه حرارتی گاز با فشار

ثابت  $C_p$  و حجم ثابت  $C_v$  بدست می‌آید. حرارت مخصوصه گازها با فشار ثابت و حجم ثابت برای گازهای مختلف متفاوت است، اما در صورتی که تعداد مالیکول‌ها در حجم مساوی باشد، این نسبت برای همه گازها تقریباً مساوی است. مقدار  $\gamma$  برای گازهای یک اتمی  $5/3 = 1.67$ ، دو اتمی مانند هوا  $7/5 = 1.40$  و سه اتمی مانند  $CO_2$  برابر با  $4/3 = 1.33$  است.

از جانب دیگر برای گازهای خیالی، از قانون ترمودینامیک می‌فهمیم که هرگاه گاز خیالی تحت فشار P، دارای حجم V و درجه حرارت T باشد، و سپس درجه حرارت را به  $T_1, T_2, \dots$  فشار را به  $P_1, P_2, \dots$  و حجم را به  $V_1, V_2, \dots$  انتقال دهیم، که این ارتباط بین آن‌ها قرار ذیل است.

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = \dots = \frac{P_3 \cdot V_3}{T_3} = R = cont$$

در رابطه فوقانی R به نام ثابت گازات یاد می‌شود، که مقدار آن تقریباً برابر به  $8.314 \frac{Joul}{mol \cdot K}$  می‌باشد، اگر در حجم مربوطه اندازه گاز به قدر m مالیکول گرام موجود باشد، پس:

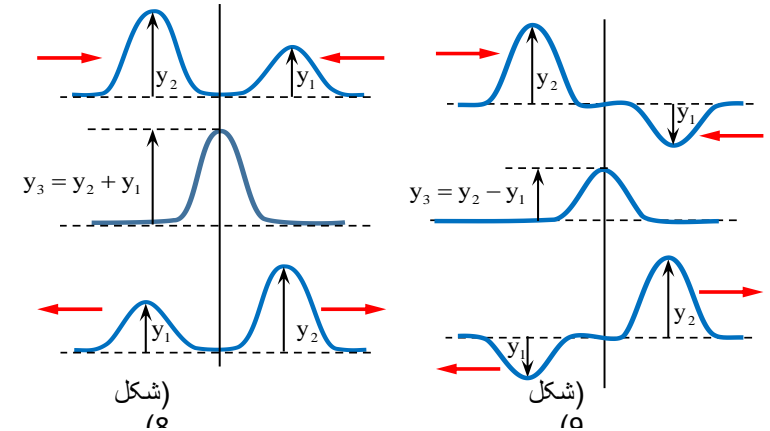
$$\frac{P \cdot V_m}{T} = R \Rightarrow P = \frac{RT}{V_m} \rightarrow v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{P}{\rho}}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{RT}{\rho \cdot V_m}} = \sqrt{\gamma \cdot \frac{RT}{\rho \cdot \frac{M}{\rho}}} = \sqrt{\gamma \cdot \frac{RT}{M}}$$

و سرعت انتشار صوت طولی به دست می‌آید:

$$v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{RT}{M}}$$

مثال 1. سرعت صوت در هوا را که حیثیت گاز کامل را دارد، در صفر درجه سلسیوس معلوم کنید، ( $M = 29 \text{ gr/mol}$ )



به حالت‌های مختلف شکل 8 متوجه باشد، در حالت (الف) دو تپ عرضی در طول طناب به طرف یک‌دیگر در حال انتشار هستند، این دو تپ در حالت (ب) به یک‌دیگر رسیده اند و چون تغییر مکان حاصل از دو تپ هم‌جهت اند، محصله آن‌ها برابر مجموع اندازه‌ی تغییر مکان‌های حاصل از هر یک شده است. در این حالت (ب) می‌گوییم تداخل موج‌ها سازنده است، در حالت (ج) دو تپ از یک‌دیگر عبور و به انتشار خود ادامه داده اند، و تفاوت راه بین منابع و ذره‌های اهتزازی با ضریب تام طول موج‌ها ( $\lambda$ ) طور ذیل است.

$$d_2 - d_1 = k\lambda, (k = 0, 1, 2, \dots)$$

و مطابق نگاره 14.9 تغییر مکان‌ها در خلاف جهت یک‌دیگر می‌باشند، تغییر مکان محصله برابر تفاضل اندازه تغییر مکان‌های است که هر تپ به تنهایی در جزئی از طناب که باهم به آن رسیده اند، ایجاد می‌کند. به حالت‌های مختلف شکل 9 توجه کنید، در حالت (ب) می‌گوییم تداخل موج‌ها ویرانگر است. و تفاوت راه‌ها بین منابع اهتزازی با ضرب تاق نصف طول موج‌ها بدست می‌آید، که طور ذیل نشان داده می‌توانیم.

$$d_2 - d_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, (k = 0, 1, 2, \dots)$$

### امواج صوتی (Sound Waves) :

امواج صدا یک بخش مهم امواج میخانیکی را تشکیل می‌دهد، موج‌های صدا به طور طولی منتشر می‌گردد، به این معنا که جهت انشتار موج‌ها و اهتزاز ذرات که انرژی آواز را انتقال می‌دهند با هم موازی و یا منطبق هستند.

در چهار اطراف ما صداهای زیاد تولید می‌شود، ولی تنها صدای انسان به طور نورمال بین فریکونسی‌های 20Hz و 20000Hz برای ما قابل شنیدن است، آوازه‌ای که بیش‌تر از 20000Hz دارد، از ساحة صداهای قابل شنیدن بلند و پایان‌تر از 20Hz از ساحة صداهای قابل شنیدن پایین نامیده می‌شوند، دیگر حیوانات قابل شنیدن امواج‌های خفیف اند، که این انتروال فقط برای گوش‌های نورمال انسان است، اما می‌توان امواج بیرون از ساحة را به کمک وسایل تخنیکی به این ساحة داخل نماییم، که این وسایل تقویه کننده‌ها (Amplifiers) گفته می‌شود، مانند شنیدن صدای رادیو و غیره. و باید گفت برای

حل.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{(1.4)(8.31)(273)}{0.029}} \approx 331 \text{ m/s}$$

مثال 2. سرعت انتشار صوت در گاز نایتروجن با حرارت  $127^\circ C$  چند متر بر ثانیه است؟  
 $(\lambda = 1.4, R = 8 \frac{\text{joul}}{\text{mol}\cdot K})$   
 حل.

$$M = 27 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}\cdot K}, T = (127 + 273)K = 400K$$

$$= 27 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}\cdot K}, T = (127 + 273)K = 400K$$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{1.4 \times 8 \times 400}{27 \times 10^{-3}}} \approx 407 \text{ m/s}$$

مثال 3. حرارتی گازی را از  $47^\circ C$  به  $227^\circ C$  افزایش می‌دهیم، سرعت صوت در آن به اندازه‌ی  $135 \text{ m/s}$  افزایش می‌یابد، قبل از افزایش حرارت سرعت صوت در گاز چند متر بر ثانیه بوده است.  
 حل.

$$\left\{ \begin{array}{l} v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \\ v' = \sqrt{\frac{\gamma RT'}{M}} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{v}{v'} = \sqrt{\frac{T}{T'}} \Rightarrow \frac{v}{v + 135} = \sqrt{\frac{320}{500}}$$

$$\Rightarrow \frac{v}{v + 135} = \sqrt{\frac{320}{500}}$$

$$\Rightarrow \frac{v}{v + 135} = \frac{4}{5} \Rightarrow 5v = 4v + 540 \Rightarrow v = 540 \text{ m/s}$$

### سرعت صوت در اجسام جامد و مایع :

می‌دانیم که سرعت انتشار موج در یک محیط به ارتجاعیت و ساختمان مالیکول‌های آن محیط ارتباط دارد، چون برای اجسام سخت این خصوصیت در رابطه با قوه‌های کشش بین مالیکول‌ها به خوبی آشکار است و برای مایعات و گازها این قوه و ساختار ارتجاعیت به ترتیب کم می‌شود، پس در رابطه با انتشار امواج هم به همین تناسب برای اجسام سخت سریع‌تر و به همین ترتیب وضاحت اکتفا نموده، سرعت‌های صوت در محیط‌های مختلف قیمت‌های مختلف دارند.

### اهداف آموزشی:

1\_ دانش آموزان با مفاهیم اساسی موضوعات (امواج صوتی، سرعت صوت در اجسام جامد و مایع، شدت صوت، امواج الکترومغناطیسی، تداخل شعاع نوری، تعیین نمودن موقعیت شکل تداخلی نوارها، تفرق، قطبی شدن نور

، مستوی استقطاب) آشنایی کامل دریافت کند.

2\_ دانش آموزان با موارد استفاده از قطبی شدن و سرعت صوت آگاهی کامل کسب نمایند.

3\_ دانش آموزان باید با اهمیت موضوعات هذا آشنا شده و بتوانند در زندگی روزمره شان تطبیق نمایند.

### بخش اول: امواج صوتی (Sound Waves)

امواج صدا یک بخش مهم امواج میخانیکی را تشکیل می‌دهد، موج‌های صدا به طور طولی منتشر می‌گردد، به این معنا که استقامت انشتار موج‌ها و اهتزاز ذرات که انرژی آواز را انتقال می‌دهند با هم موازی و یا منطبق استند.

در چهار اطراف ما صداهای زیاد تولید می‌شود، ولی تنها صدای انسان به طور نورمال بین فریکونسی‌های  $20 \text{ Hz}$  و  $20000 \text{ Hz}$  برای ما قابل شنیدن است، آوازهای که بیش‌تر از  $20000 \text{ Hz}$  دارد، از ساحة صداهای قابل شنیدن بلند و پایان‌تر از  $20 \text{ Hz}$  از ساحة صداهای قابل شنیدن پایین نامیده می‌شوند، دیگر حیوانات قابل شنیدن امواج‌های خفیف اند، که این انتروال فقط برای گوش‌های نورمال انسان است، اما می‌توان امواج بیرون از ساحة را به کمک وسایل تخنیکی به این ساحة داخل نماییم، که این وسایل تقویه‌کننده‌ها (Amplifiers) گفته می‌شود، مانند شنیدن صدای رادیو و غیره. و باید گفت برای انسان‌ها امواج صدا از اهتزاز تارهای صوتی حنجره آن‌ها بلند می‌شوند، که در جانب مقابل به شکل امواج طولی انتشار می‌یابد، که موج‌های صوتی مانند: امواج طولی دیگر انعکاس و انکسار می‌نمایند.

### سرعت صوت در گازات

می‌دانیم که که امواج صوتی در محیط الاستیکی (ارتجاعی) منتشر می‌گردد، خصوصیت الاستیکی محیط گازی به خواص دینامیکی آن مربوط است، پارامترهای دینامیکی محیط گازی به درجه حرارت، فشار و حجم ارتباط دارد، که در گازهای کامل، سرعت صوت ذریعه فورمول لاپلاس به دست می‌آید، و آن این است.

$$v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{P}{\rho}}$$

در فورمول فوقانی P فشار گاز،  $\rho$  کثافت گاز و  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  از نسبت ظرفیت مخصوصه حرارتی گاز با فشار ثابت  $C_p$  و حجم ثابت  $C_v$  بدست می‌آید. حرارت مخصوصه گازها با فشار ثابت و حجم ثابت برای گازهای مختلف متفاوت است، اما در صورتی که تعداد مالیکول‌ها در حجم مساوی باشد، این نسبت برای همه گازها تقریباً مساوی است. مقدار  $\gamma$  برای گازهای یک اتومی  $1.67 = \frac{5}{3}$ ، دو اتومی مانند هوا  $1.40 = \frac{7}{5}$  و سه اتمی مانند  $CO_2$  برابر با  $1.33 = \frac{4}{3}$  است.

$$\begin{cases} v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \\ v' = \sqrt{\frac{\gamma RT'}{M}} \end{cases} \Rightarrow \frac{v}{v'} = \sqrt{\frac{T}{T'}} \Rightarrow \frac{v}{v+135} = \sqrt{\frac{320}{500}}$$

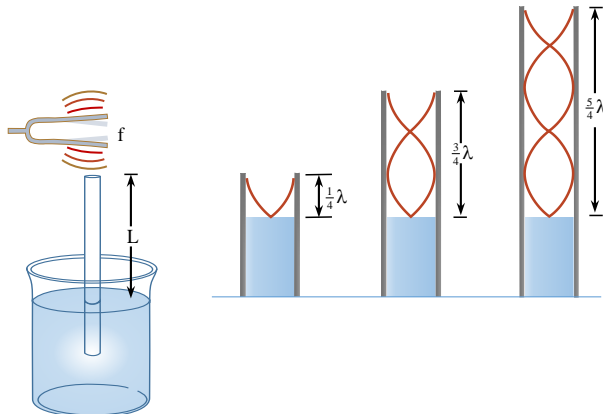
$$\Rightarrow \frac{v}{v+135} = \frac{4}{5} \Rightarrow 5v = 4v + 540 \Rightarrow v = 540 \text{ m/s}$$

### سرعت صوت در اجسام جامد و مایع

می دانیم که سرعت انتشار موج در یک محیط به ارتجاعیت و ساختمان مالیکولهای آن محیط ارتباط دارد، چون برای اجسام سخت این خصوصیت در رابطه با قوههای کشش بین مالیکولها به خوبی آشکار است و برای مایعات و گازها این قوه و ساختار ارتجاعیت به ترتیب کم می شود، پس در رابطه با انتشار امواج هم به همین تناسب برای اجسام سخت سریع تر و به همین ترتیب وضاحت اکتفا نموده، سرعت های صوت در محیط های مختلف قیمت های مختلف دارند.

### شدت صوت (Sound Intensity)

صدا مانند هر پدیده موجی دیگر، انعکاس و انکسار می کند، ولی در ارتباط با شنیدن، صوت به دو نوع می باشد، یکی صوت های آهنگ دار و دیگری صوت های بی آهنگ می باشد، آوازه های آهنگ دار به صوت های گفته می شود که بالای گوش ها یا حس شنوایی انسان اثر مطبوع وارد می کند، در حالی که صوت های بی آهنگ برای حس شنوایی انسان خوش آیند نبوده و احساس خوب را به میان نمی آورند. این بلندی و پستی به شدت صدا مربوط است، شدت صوت عبارت از آن مقدار انرژی است که در یک ثانیه از سطحی به اندازه یک سانتی متر مربع که به استقامت انتشار موج عمود باشد، مشخص می شود، البته شدت صوت به منبع و انتشار انرژی و گوش هم ارتباط دارد، از همین جا گفته می توانیم که شدت صوت یک کمیت فزینی است، شدت آواز به محیط اهتزاز و ذرات اهتزاز آن محیط، دامنه اهتزاز و فاصله



منبع تولید صوت وابسته می باشد.

استفاده از عملیه ریزونانس (Resonance) در اندازه نمودن سرعت صوت در وسایل، سامان آلات ساز و آواز بکار رفته است، که در اثر آن موج های صوتی خود را هم آهنگ می نمایند، برای فهم خوبتر موضوع

از جانب دیگر برای گازهای خیالی، از قانون ترمودینامیک می فهمیم که هرگاه گاز خیالی تحت فشار P، دارای حجم V و درجه حرارت T باشد، و سپس درجه حرارت را به  $T_1, T_2, \dots$  فشار را به  $P_1, P_2, \dots$  و حجم را به  $V_1, V_2, \dots$  انتقال دهیم، که این ارتباط بین آنها قرار ذیل است.

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = \dots = \frac{P_3 \cdot V_3}{T_3} = R = \text{const}$$

در رابطه فوقانی R به نام ثابت گازات یاد می شود، که مقدار آن تقریباً برابر به  $8.314 \frac{\text{Joul}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$  می باشد، اگر در حجم مربوطه اندازه گاز به قدر m مالیکول گرام موجود باشد، پس:

$$\frac{P \cdot V_m}{T} = R \Rightarrow P = \frac{RT}{V_m} \rightarrow v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{P}{\rho}}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{RT}{\rho V_m}} = \sqrt{\gamma \cdot \frac{RT}{\rho V_m}} = \sqrt{\gamma \cdot \frac{RT}{\rho \cdot \frac{M}{\rho}}}$$

و سرعت انتشار صوت طور ذیل به دست می آید:

$$v = \sqrt{\gamma \cdot \frac{RT}{M}}$$

مثال 1. سرعت صوت در هوا را که حیثیت گاز کامل را دارد، در صفر درجه سلسیوس معلوم کنید،  $(M = 29 \text{ gr/mol})$  حل.

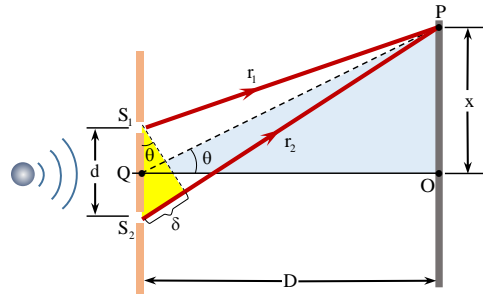
$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{(1.4)(8.31)(273)}{0.029}} \approx 331 \text{ m/s}$$

مثال 2. سرعت انتشار صوت در گاز نایتروجن با حرارت  $127^\circ \text{C}$  چند متر بر ثانیه است؟  $(\lambda = 1.4, R = 8 \frac{\text{joul}}{\text{mol} \cdot \text{K}})$  حل.

$$M = 27 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol} \cdot \text{K}}, T = (127 + 273) \text{K} = 400 \text{K}$$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{1.4 \times 8 \times 400}{27 \times 10^{-3}}} \approx 407 \text{ m/s}$$

مثال 3. حرارتی گازی را از  $47^\circ \text{C}$  به  $227^\circ \text{C}$  افزایش می دهیم، سرعت صوت در آن به اندازهی  $135 \text{ m/s}$  افزایش می یابد، قبل از افزایش حرارت سرعت صوت در گاز چند متر بر ثانیه بوده است. حل.



انتشار موجی شعاع نور شکل تابع سین (sin) را دارد. فاز یک نقطه اهتزاز این تابع را که از فاصله اهتزاز  $x$  قیمت  $\varphi$  را دارد، این طور نشان داده می‌توانیم.

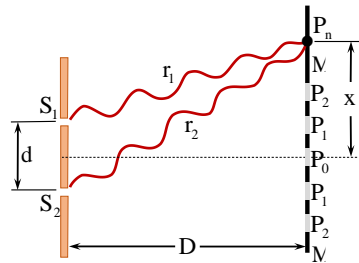
$$\varphi = \frac{2\pi x}{\delta}, \quad x = D \sin \theta \approx D \tan \theta, \quad \delta = r_2 - r_1 = d \sin \theta$$

در این رابطه  $\delta$  تفاوت راه بین آن دو شعاع موجی نوری است، که فاز آن‌ها  $2\pi$  می‌باشد، در حالی که برای یک نقطه کیفی مهتزر، این فاز  $\varphi$  و تفاوت راه نوری  $x$  است. مطابق نگاره 14.12 از یک منبع نوری  $S$  که به دو منبع مجازی  $S_1$  و  $S_2$  عبور می‌دهیم، که بعد از عبور از سوراخ‌ها موج‌های نوری منتشر می‌گردد و در یک فاصله معین امواج منتشر شده از این منابع، یکی به دیگر داخل می‌گردند، و در نتیجه شدت امواج نوری طور ذیل محاسبه می‌گردد.

$$I = 4a^2 \times \cos^2 \frac{\varphi}{2}$$

#### تعیین نمودن موقعیت شکل تداخلی نوارها

توماس یانگ برای اولین بار با استفاده از دستگاه تداخل سنجی که به آن طول موج رنگ‌های مختلف نور را اندازه‌گیری نمود،



این دستگاه فاصله دو شکاف را به  $d$ ، فاصله پرده از صفحه شکاف‌ها به  $D$ ، فاصله‌ی یک نوار روشن یا یک نوار تاریک معین تا نوار روشن مرکزی را به  $x$  مانند نگاره بالا. و اختلاف راه موج‌های نوری که نوار روشن یا تاریک از تداخل آن‌ها به وجود آمده است به  $\delta$  نشان می‌دهیم، مانند شکل 14.12، رابطه‌ی زیر برقرار است.

$$\frac{x}{D} = \frac{\delta}{d} \rightarrow x = \frac{\delta D}{d} \quad \vee \quad \delta = \frac{xd}{D} \dots (i)$$

$$\delta = d \sin \theta_{\text{bright}} = \frac{xd}{D} = m\lambda, \quad x = \frac{m\lambda D}{d} \dots (ii)$$

فوق در لابراتوارها یک آله‌ی ساخته شده که طول موج‌ها را به وسیله یک هم‌آهنگ کننده (صوت تولید شده توسط پنجه صوتی) معلوم می‌نمایند، مانند نگاره 14.10، اگر فریکوئسی صدای پنجه صوتی  $f$  باشد، پس سرعت اهتزاز صوت تولید شده در هوا توسط رابطه  $v = f \times \lambda$  معلوم می‌گردد، هم‌چنان مطابق به نگاره 14.10 می‌توانیم، که در نل شیشه‌ی داخل ظرف، ارتفاع ستون هوا را با اضافه نمودن و کم کردن آب تحت مشاهده قرار دهیم، اول یک حصه کم نل را از هوا و متبقی آن را از آب پر می‌کنیم، آب را از نل آهسته آهسته کم می‌کنیم، تا که آواز پنجه صوتی به حالت ریزونانس برسد، پنجه صوتی را به طرف باز نل که هوا به آن نمی‌رسید گرفته و می‌بنیم که آب در نل از این صدا متأثر می‌گردد، یعنی:

$$L_1 + c = \frac{\lambda}{4}, \quad L_2 + c = \frac{3\lambda}{4}, \dots, \quad L_n = \frac{(2n-1)\lambda}{4} + c$$

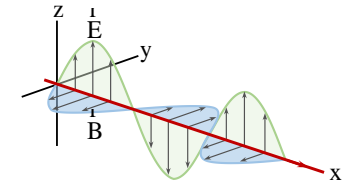
$$L_2 - L_1 = \frac{\lambda}{2}, \quad L_3 - L_2 = \frac{\lambda}{2}, \dots, \quad L_n - L_{n-1} = \frac{\lambda}{2}$$

اگر  $v = f \times \lambda$  باشد، پس سرعت صوت را طور زیر می‌توان نوشت:

$$v = 2f(L_2 - L_1) = 2f(L_3 - L_2) = 2f(L_n - L_{n-1})$$

#### امواج الکترومقناطیسی (Electromagnetic Waves)

امواج الکترومقناطیسی در نتیجه یک مناقشه طولانی که در رابطه با طبیعت نور و چگونگی آن، که نور موج است و یا ذره، توسط یک عالم انگلیسی مکسویل مطرح گردیده است.

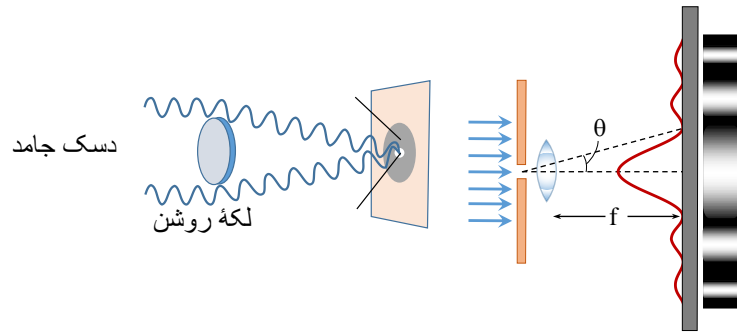


که در این جا بر اساس خصوصیت موجی نور پروسه‌های تداخل، تفرق و قطبی شدن بررسی می‌گردد، باید بگوییم که نور، آن عاملی است که طول موج آن در فاصله بسیار کوچک از  $4000\text{\AA}$  تا  $4500\text{\AA}$  قرار دارد، سرعت نور در هوای آزاد  $300000\text{ km/s}$  است و تمام امواج الکترومقناطیسی—همین خصوصیت را دارند.

#### تداخل شعاع نوری

تداخل امواج نوری هنگامی صورت می‌گیرد، که شعاع نوری کوهرنت (Coherent) باشد، یعنی فاز و امپلیتود شعاعاتی که تداخل می‌نمایند شکل یک‌سان و مساوی داشته باشند و از طرف دیگر قیمت طول موج‌ها یعنی  $\lambda$  باهم مساوی و مونوکروماتیک (Monochromatic) باشند. تحت این شرایط، در طبیعت این چنین منابع موجی نوری پیدا شده نمی‌توانند، پس ساینس دانان از روش‌ها و وسیله‌های مختلف سعی می‌نمایند تا منابع دارای خصوصیات فوق را ایجاد نمایند. ما در این جا از یک میتود خاص که به واسطه یونگ و فرنیل ایجاد شده، تداخل را به شکل تحلیلی آن بررسی می‌نماییم.

پس باید به خط مستقیم انتشار نمی کرد و مثال های آشکار و غیر دقیق هم برای این عقیده وجود داشت، مثلاً: هنگامی که شعاع از یک سوراخ و یا هم از طریق ذرات داخل اطاق می گردید، مانند یک خط مستقیم معلوم می شد، پس نور باید ذره باشد، ولی بعداً هیوگنز یک تعداد تجارب را انجام دادند و در نتیجه آن نشان دادند، وقتی که شعاع از یک سوراخ کوچک داخل اطاق می گردد، شعاعی که با کناره های سوراخ تماس نموده انحناء می کند، و در طرف تصویر سوراخ یک تعداد قسمت های روشن و تاریک ظاهر می شد، که به خصوصیت موجی شعاع نوری دلالت می کند، هیوگنز این حادثه را مثل حادثه صوت با اصول موجی توضیح نمود، و به این حادثه نام تفرق (Diffraction) را گذاشت. هیوگنز این دو تجربه بسیار ساده را به انجام رسانید.



اول در مسیر شعاع نوری یک سوراخ دایره ای را قرار داد و هنگامی که شعاع از سوراخ خارج گردیده، بر روی پرده طوری نمایان شد، که در اطراف تصویر ساحه های روش و تاریک به نظر می خورد، که این خصوصیت موجی شعاع نوری را آشکار می سازد، در این تجربه روشنی زیاد در حصه وسطی قرار داشته و هر قدر که به استقامت شعاع به کناره ها (لبها) می رود، روشنی آهسته آهسته کم می گردد تا این که نیمه روشن و قسمتی از سوراخ معلوم می شود، هم چنان در مسیر شعاع نوری یک دیسک (قرص) خورد دایره ای را بگذاریم، دیده می شود که شعاع نوری از لبها دیسک به پرده می خورد و دیسک سایه اش را روی پرده به شکل سیاه رنگ تشکیل می دهد، این چنین انتشار نور را که به خصوصیت موجی شعاع نوری جواب می دهد، تفرق می گویند. از حادثه تفرق در مطالعه کرسنالها استفاده زیاد می گردد، در این حادثه نیز از شعاع مونوکروماتیک استفاده می شود، در این حادثه تفرق ابعاد تجربی بسیار کوچک و با طول موج شعاع نوری قابل مقایسه است.

### قطبی شدن نور (Polarization of Light Waves)

حوادث نوری تداخل و تفرق محض آشکار نمود، که طبیعت شعاع نوری موجیست، و این را توضیح نمی نماید، که این حالت موجی به شکل امواج طولی است، و یا به گونه امواج عرضی، اما استقطاب نوری این را واضح ساخت که شعاع نوری امواج عرضی است، یعنی اهتزاز ذرات اهتزازی به استقامت انتشار امواج شعاع نوری عمود است.

### مستوی استقطاب (Plane of polarization)

وقتی که نور عادی از کرسنال تورمالین می گذرد، قطبی می گردد، و این نور قطبی شده به استقامت انتشار نور عموداً اهتزاز می نماید، که در حقیقت به این نور، نور قطبی شده مستوی می گویند، مستوی

$$\delta = d \sin \theta_{dark} = \frac{xd}{D} = (2m - 1) \frac{\lambda}{2}, x = (2m - 1) \frac{\lambda D}{2d} \dots (iii)$$

رابطه نخست اندازه  $x$  فاصله نوار روشن و یا تاریک از نوار مرکزی و  $\delta$  تفاوت راه نوری را نشان می دهد، رابطه دوم مقدار  $x$  فاصله نوار روشن  $m$  - ام از نوار مرکزی و رابطه آخری مقدار  $x$  فاصله نوار تاریک  $m$  - ام از نوار مرکزی را بیان می کند، و برای همیشه  $m = 1, 2, 3, \dots$  می باشد.

مثال 1. در آزمایش یانگ فاصله دو شکاف  $0.4mm$  و فاصله پرده تا دو شکاف  $80cm$  است، اگر طول موج نور  $\lambda = 0.6\mu m$  باشد، فاصله نوار دهم روشن از نوار مرکزی چند ملی متر است؟ حل.

$$x = \frac{m\lambda D}{d} \Rightarrow x = \frac{10 \times 0.6 \times 10^{-6} m \times 0.8m}{0.4 \times 10^{-3} m} = 12 \times 10^{-3} m$$

$$x = 12mm$$

مثال 2. در آزمایش یانگ فاصله دو شکاف  $0.5$  میلی متر و فاصله پرده تا دو شکاف  $1m$  است، اگر طول موج نور  $0.6\mu m$  باشد، فاصله نوار تاریک دهم از نوار مرکزی چقدر است؟ حل.

$$x = (2m - 1) \frac{\lambda D}{2d} \Rightarrow x = (2 \times 10 - 1) \frac{0.6 \times 10^{-6} m \times 1m}{2 \times 0.5 \times 10^{-3} m}$$

$$x = 11.4 \times 10^{-3} m = 11.4mm$$

مثال 3. در آزمایش یانگ فاصله دو شکاف  $0.6mm$  و فاصله نوار روشن دهم از وسط نوار مرکزی  $5mm$  است، اگر طول موج نوری  $0.5\mu m$ ، فاصله پرده تا دو شکاف چند سانتی متر است؟ حل.

$$n = \frac{n\lambda D}{d} \Rightarrow D = \frac{xd}{n\lambda} \Rightarrow D = \frac{5 \times 10^{-3} m \times 0.6 \times 10^{-3} m}{10 \times 0.5 \times 10^{-6} m}$$

$$D = 0.6m = 60cm$$

مثال 4. در آزمایش یانگ با نوری یک رنگ، فاصله پرده نوارها از دو شکاف  $2000$  برابر فاصله دو شکاف و فاصله چهارمین نوار روشن از نوار مرکزی  $4mm$  است، طول موج این نور چند انگستروم است؟ حل.

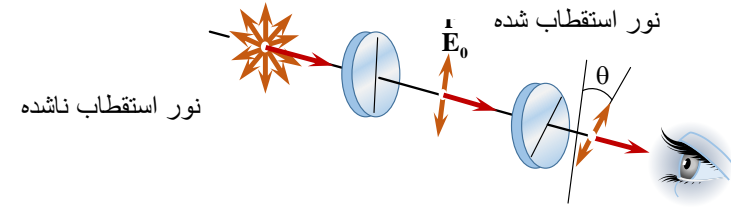
$$x = \frac{n\lambda D}{d} \Rightarrow \lambda = \frac{xd}{nD} \Rightarrow \lambda = \frac{4 \times 10^{-3} m \times d}{4 \times 2000d} = 5 \times 10^{-7} m$$

$$x = 5000 \times 10^{-10} m = 5000\text{A}^\circ$$

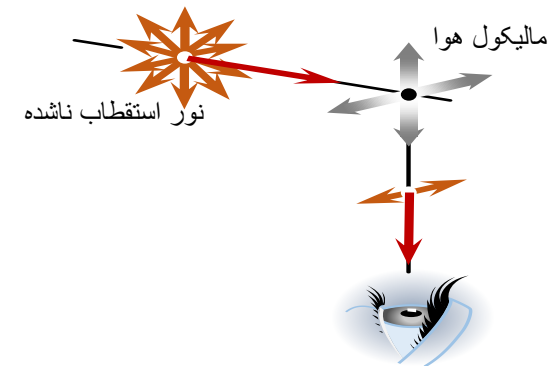
### تفرق (Diffraction)

در زنده گی روزمره دیده می شود، که نور به خط مستقیم انتشار می نمایند، و این یک اصل نور هندسی است. یک قرن پیش یک تعداد دانشمندان به این باور بودند که اگر نور خصوصیت موجی را دارا می بود،

اسقطاب آن مستوی است که اهتزاز در آن صورت می‌گیرد. در نگاره 14.16 اهتزازات بر مستوی قطبی عموداً صورت می‌گیرد. آن مستوی که در آن اهتزازها صورت می‌گیرد، به نام مستوی اهتزازی یاد می‌شود.



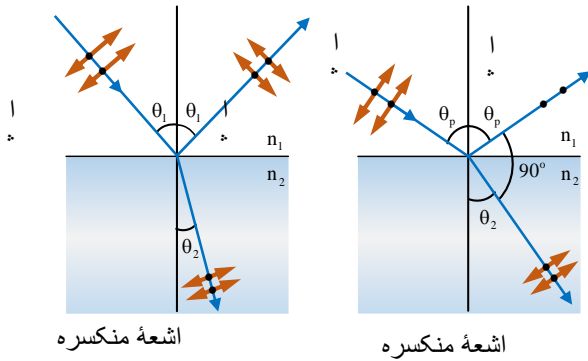
می‌دانیم که نور عادی از موج‌های زیاد تشکیل گردیده است، که هر موج آن به یک رنگ مشخصی که اهتزازات خطی، دایره‌ای و بیضی‌ای اجرا می‌نمایند، مطابقت می‌کند. از طرف دیگر این واضح است که اهتزازهای بیضوی و دایره‌ای از دو اهتزاز خطی که یکی بالای دیگر، عمود بوده و تفاوت فاز  $\frac{\pi}{2}$  را دارد، به میان می‌آید. به همین علت است که هر اهتزاز به دو مرکبه که یکی بالای دیگر عمود باشد، تجزیه گردد. به این اساس اشعه نوری را که امواج عرضی اند، در دو مستوی  $xy'$  و  $x'x$  که یکی بالای دیگر عمود بوده و در عین زمان به استقامت انتشار نور هم عمود اند، به دو مرکبه تجزیه می‌نماییم. اهتزازاتی را که ذرات به موازات مستوی کاغذ به سر می‌رسانند مطابق نگاره به نماد  $(\uparrow)$  و آن اهتزازاتی که بر مستوی کاغذ عمود باشند به سیمبول  $(\bullet)$  نشانی شده اند.



### قطبی کردن به وسیله انعکاس

در سال 1880 میلادی یک ساینسدان به نام ملوس (malus) نشان داد، که شعاع منعکس شده از سطح یک شیشه عادی قطبی می‌شود. این عالم به واسطه یک تجربه شعاع نور عادی را بر شیشه مستوی وارد نموده و سپس شعاع منعکس را از آن ذریعه کرسنال تورمالین آزمایش کرد که قطبی می‌شود. موصوف در جریان تجربه کرسنال تورمالین را به استقامت شعاع منعکس حرکت داده و بالاخره دید که در یک موقعیت معین و تحت زاویه وارده، شعاع منعکس قطبی گردیده است. به این زاویه، زاویه استقطاب (قطبی شدن) می‌گویند.

در این جا شعاع منعکس بر سطح شیشه عمود و به مرکبه‌های موازی به آن تجزیه می‌شود و دوباره موازی منعکس می‌گردد و مرکبه عمودی تحت زاویه معین قابل رویت می‌گردد، هم چنان شعاع منعکس تحت زاویه‌های معین نیز مانند امواج سطح آب قطبی می‌شود، باید گفته شود که حادثه قطبی شدن بحث بسیار طولانی است و در تخنیک، طبابت و پژوهش‌های تحقیقی دیگر از آن استفاده وسیع صورت می‌گیرد که ما در این جا تنها به معرفی این حادثه اکتفا نموده‌ایم.



### سوالات تمرینی

#### الف) سوالات مفهومی:

1. امواج صوتی چیست و چگونه تولید می‌شوند؟
2. چرا سرعت صوت در آب بیشتر از هوا و در آهن بیشتر از آب است؟
3. شدت صوت به چه معناست و به چه عوامل وابسته است؟
4. امواج الکترومغناطیسی چیستند؟ چند نمونه از آنها را نام ببرید.
5. تداخل شعاع نوری چگونه رخ می‌دهد؟ در کجاها قابل مشاهده است؟

#### ب) قطبی شدن نور:


6. قطبی شدن نور یعنی چه؟ چه وقت نور قطبی می‌شود؟
7. مستوی استقطاب چیست و چه مفهوم دارد؟
8. در زندگی روزمره کجا از قطبی شدن نور استفاده می‌شود؟ (حداقل دو مثال)
9. تفاوت میان نور قطبی شده و نور عادی در چیست؟
10. چرا عینک‌های آفتابی قطبی برای رانندگی یا ورزش مفید اند؟

#### ج) سوالات تحلیلی و محاسبه‌ای:

11. اگر سرعت صوت در آب ۱۵۰۰ متر در ثانیه و در آهن ۵۰۰۰ متر در ثانیه باشد، یک موج صوتی فاصله ۳۰۰۰ متر را در هر محیط در چند ثانیه طی می‌کند؟
12. در یک آزمایش نوری، شعاع نوری از دو شکاف گذشته و نوارهای تداخلی تولید می‌کند. اگر فاصله بین دو نوار روشن ۲ میلی‌متر باشد، این چه چیزی در مورد طول موج نشان می‌دهد؟

- قطبی‌شدن نور در عینک‌های آفتابی
- استفاده از رادار و سونار در طیاره و کشتی
- هر گروه یافته‌های خود را به صنف ارائه دهد.

13. اگر شدت صوت در فاصله معین ۸۰ دسی‌بل باشد، وقتی فاصله دو برابر شود، شدت صوت چگونه تغییر می‌کند؟

 فعالیت‌های صنفی / عملی

● فعالیت ۱: آزمایش سرعت صوت

هدف: درک تفاوت سرعت صوت در مواد مختلف

- از سه محیط مختلف استفاده شود: هوا، آب و فلز.
- شاگردان توسط زدن دو سنگ یا استفاده از زنگ، انتقال صوت را در این سه ماده تجربه می‌کنند.
- ثبت کنند که در کدام محیط، صوت سریع‌تر به گوش می‌رسد و چرا.

● فعالیت ۲: مشاهده تداخل نور

هدف: شناخت نوارهای تداخلی

- با استفاده از تصاویر، ویدیو یا وسایل ساده آزمایشگاهی، عبور نور از دو شکاف نشان داده شود.
- شاگردان محل نوارهای روشن و تاریک را مشاهده و تحلیل نمایند.
- بحث شود که چه زمانی بیشترین و کمترین شدت نور ایجاد می‌شود.

● فعالیت ۳: آزمایش قطبی‌شدن نور

هدف: مشاهده مستوی استقطاب

- از دو شیشه عینک آفتابی قطبی یا فیلتر استفاده شود.
- شاگردان آن را در مقابل منبع نور قرار داده و در زوایای مختلف بچرخانند.
- وقتی دو فیلتر ۹۰ درجه چرخانده می‌شوند، نور از آن عبور نمی‌کند → نتیجه: نور قطبی‌شده.
- مفهوم مستوی استقطاب و جهت موج توضیح داده شود.

● فعالیت ۴: گروه‌کاری – کاربرد مفاهیم در زندگی

هدف: فهم عملی و کاربردی مفاهیم

- شاگردان به گروه تقسیم شوند.
- هر گروه جدول کاربردهای مفاهیم فیزیکی را در زندگی روزمره تهیه نماید، مانند:

○ استفاده از سرعت صوت در سونوگرافی در طب