جلسه نهم

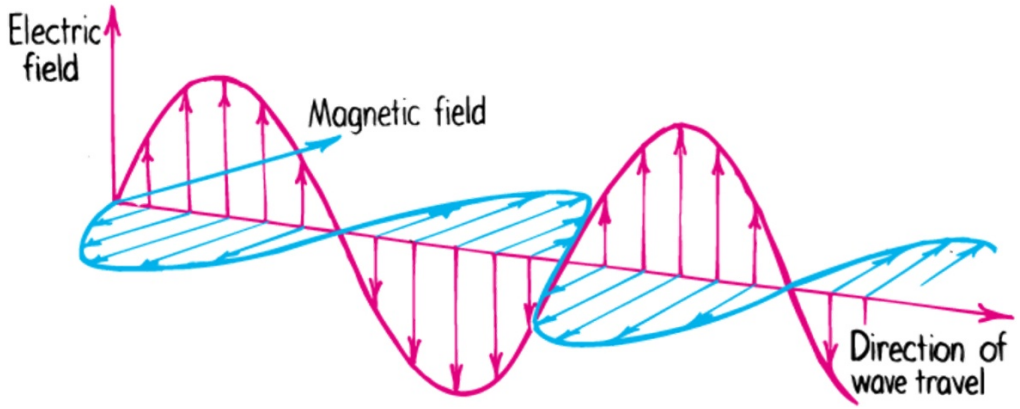
امواج عرضی (۱)

انواع امواج:

۱- امواج مکانیکی

برای انتشار نیاز به محیط مادی دارد

از قوانین نیوتن تبعیت می کند



۲- امواج الکترومغناطیسی

بدون نیاز به محیط انتشار (انتشار در خلاء)

سرعت انتشار در خلاء $c = 3\times10^8\ m/s$

۳- امواج مادی: امواج الکترونی، پروتونی و دیگر ذرات بنیادی و حتی اتمها

امواج مکانیکی:

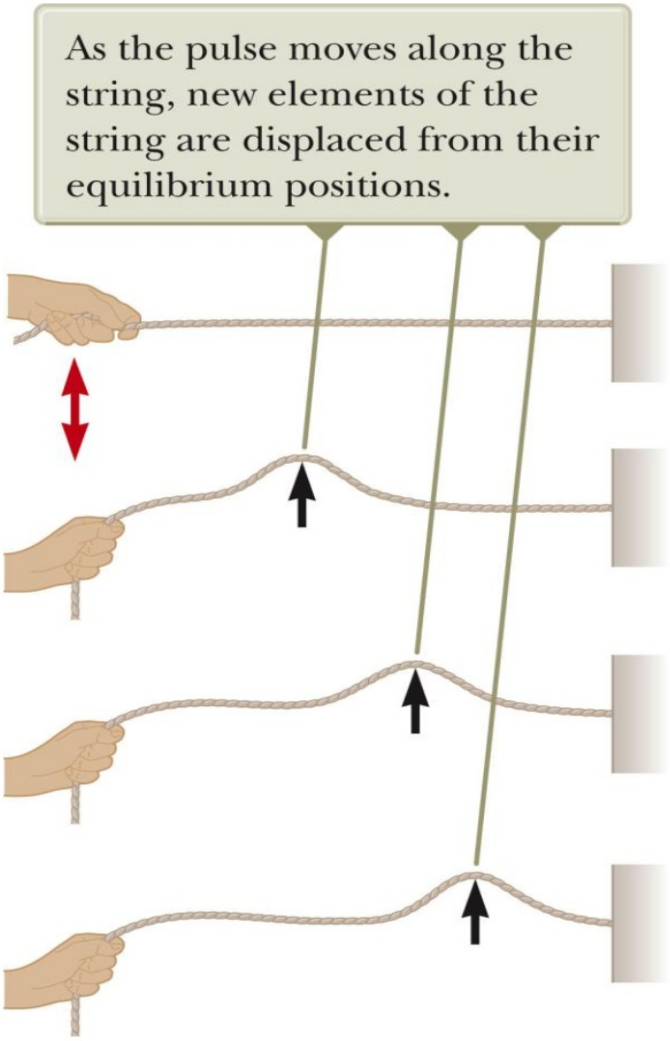
- موج طولی
- موج عرضی

ویژگی مشترک:

- ❑ انتقال انرژی
- ❑ عدم انتقال ماده
- ❑ انرژی از یک چشمه خارجی وارد محیط می شود
- ❑ اگر چشمه نوسان ساز دارای نوسانهای هماهنگ ساده باشد موج منتشر شده به صورت تناوبی یا سینوسی خواهد بود

Film 1

ایجاد موج عرضی در سیم



- ایجاد یک پالس آشفتگی با بالا و پایین بردن انتهای آزاد ریسمان توسط دست (چشمه آشفتگی)
- بدلیل وجود نیروی کشش بین دو بخش مجاور سیم، هر بخش بالارفته از سیم، بخش مجاور خود را بالا می کشد
- و همین طور با پایین آمدن هر بخش، بخش مجاور خود را پایین می کشد
- و بدین ترتیب یک اعوجاج یا آشفتگی در طول سیم منتشر می شود
- با بالا و پایین رفتن پیوسته و منظم انتهای سیم، یک موج در سیم منتشر می گردد

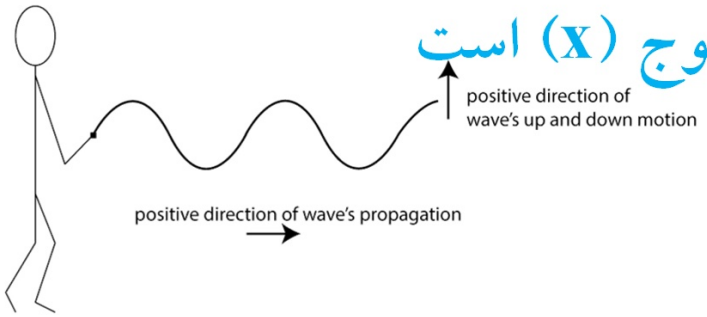
ویژگی های موج عرضی

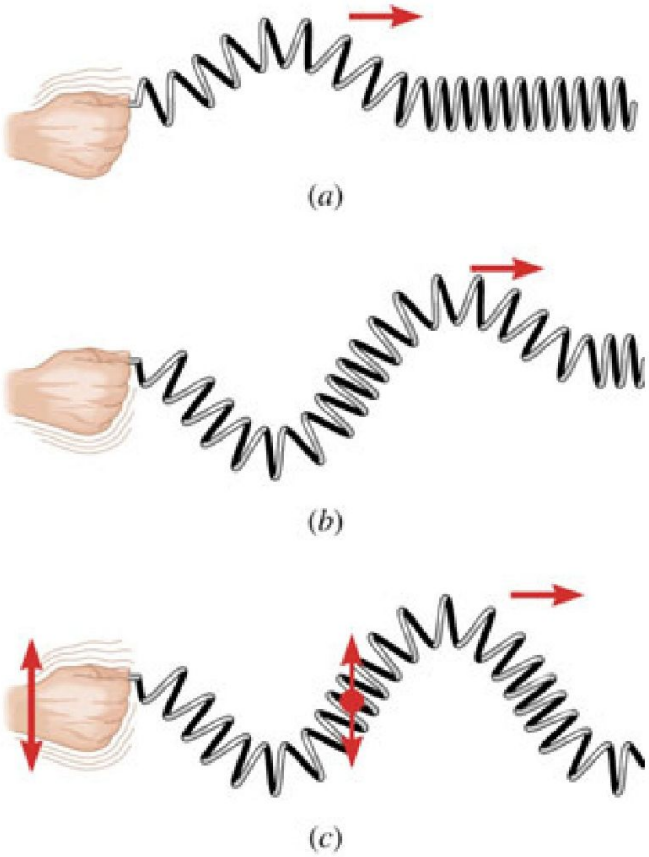
- با صرف نظر کردن از عوامل کاهنده انرژی مانند اصطکاک، دامنه موج کاهش نمی آید
- طول سیم آنقدر بلند فرض می شود تا بتوان از موج بازگشتی از مرزها صرف نظر نمود
- مصادیق حرکت

حرکت کلی: حرکت آشفتگی در امتداد سیم (موج رونده)

حرکت المانها: حرکت و جابه جایی هر المان از سیم که شامل بالا و پایین رفتن منظم آنها در سیم مرتعش است

- **امتداد نوسانهای المانهای سیم (y) عمود بر راستای انتشار موج (x) است**





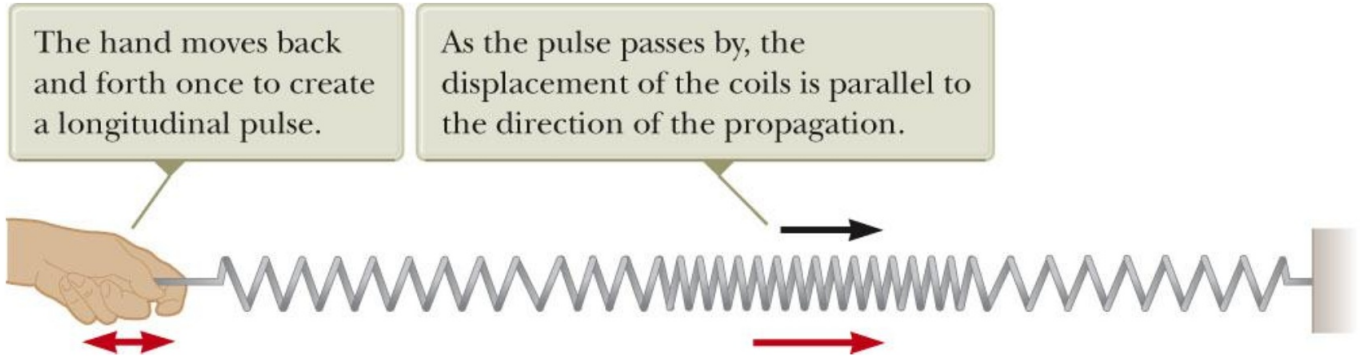
disturbance

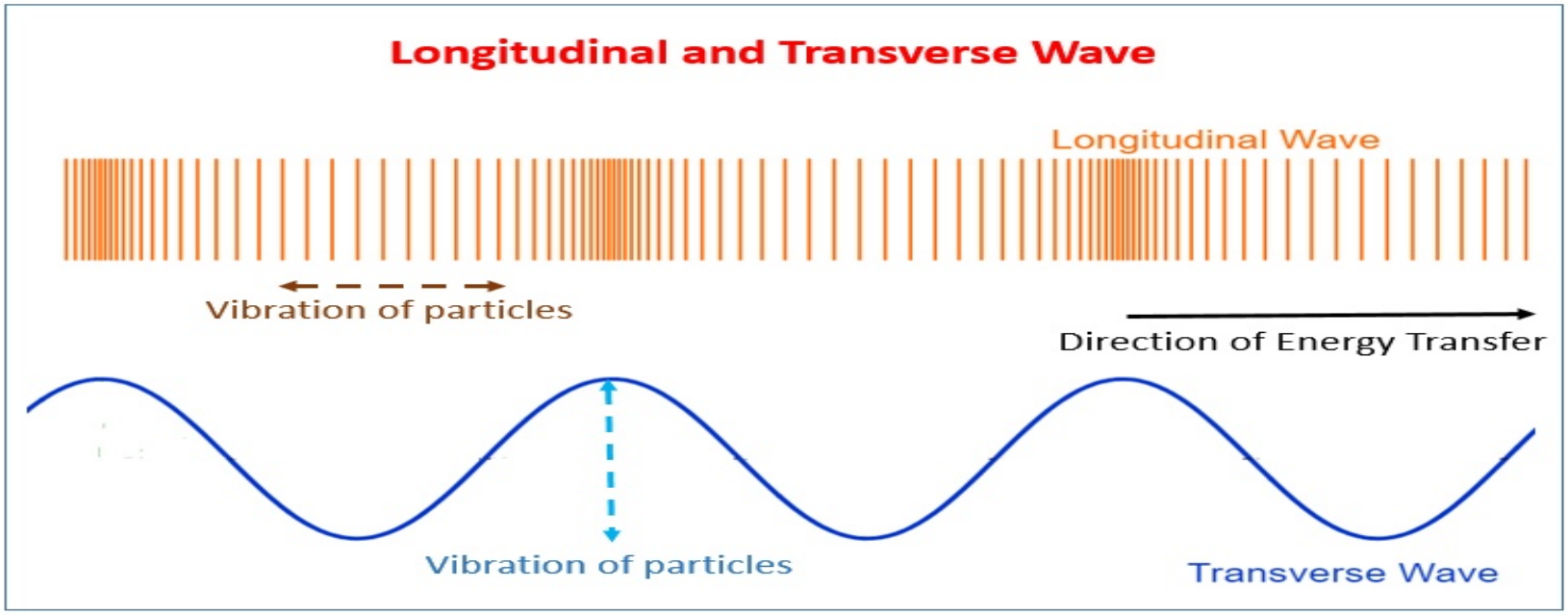
direction of travel

Film 2

ایجاد موج طولی در یک لوله هوا

- ایجاد یک پالس آشفتگی با جلو و عقب بردن پیستون
- بدلیل بوجود آمدن یک اختلاف فشار بین دو لایه مجاور از هوا، یک نیروی خالصی هر لایه دارای فشار بالاتر به لایه مجاور خود وارد می سازد
- نیروی اعمالی سبب متراکم شدن لایه دوم و افزایش چگالی و لذا فشار در آن می شود
- و بدین ترتیب یک آشفتگی تراکم در طول لوله هوا منتشر می شود
- با جلو و عقب رفتن پیوسته و منظم پیستون، یک موج در طول لوله منتشر می گردد





$$PV = nRT = cons\tan t \quad \rightarrow \quad P \propto \frac{1}{V}$$

Film 3

موج مرکب

امواجی که ترکیبی از دو موج عرضی و طولی هستند

موج در سطح آب

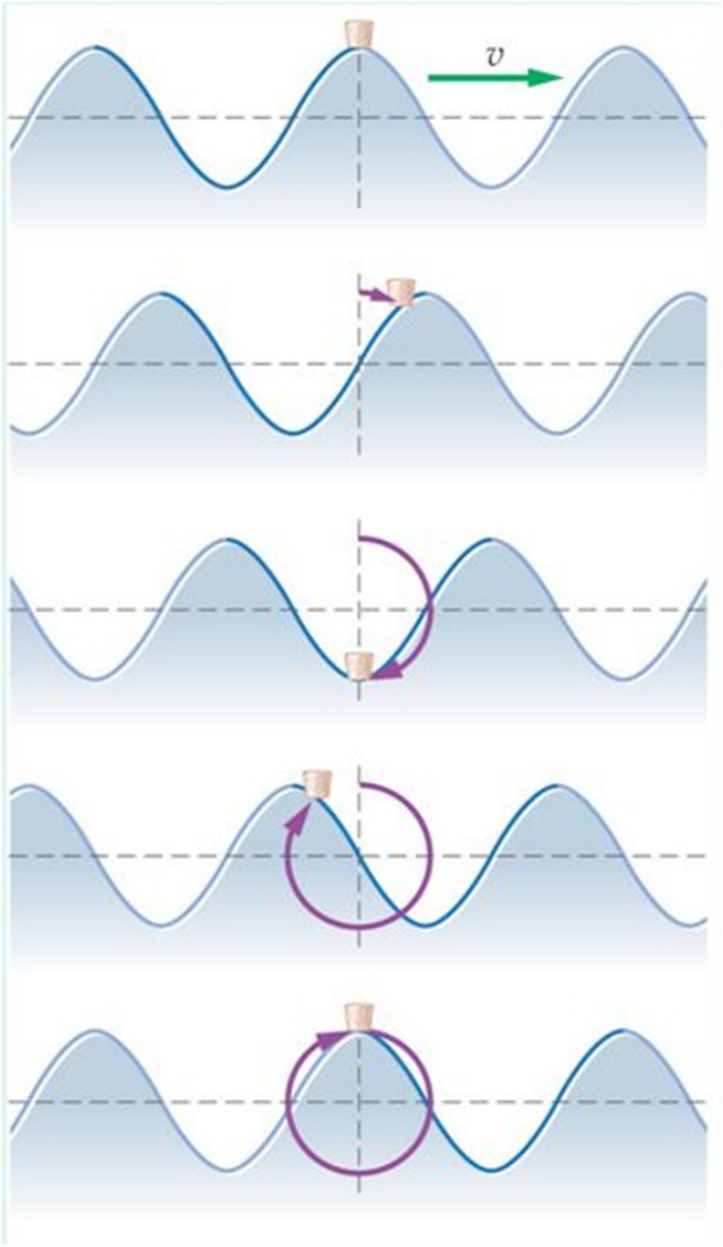
موج ناشی از زلزله

موج زلزله

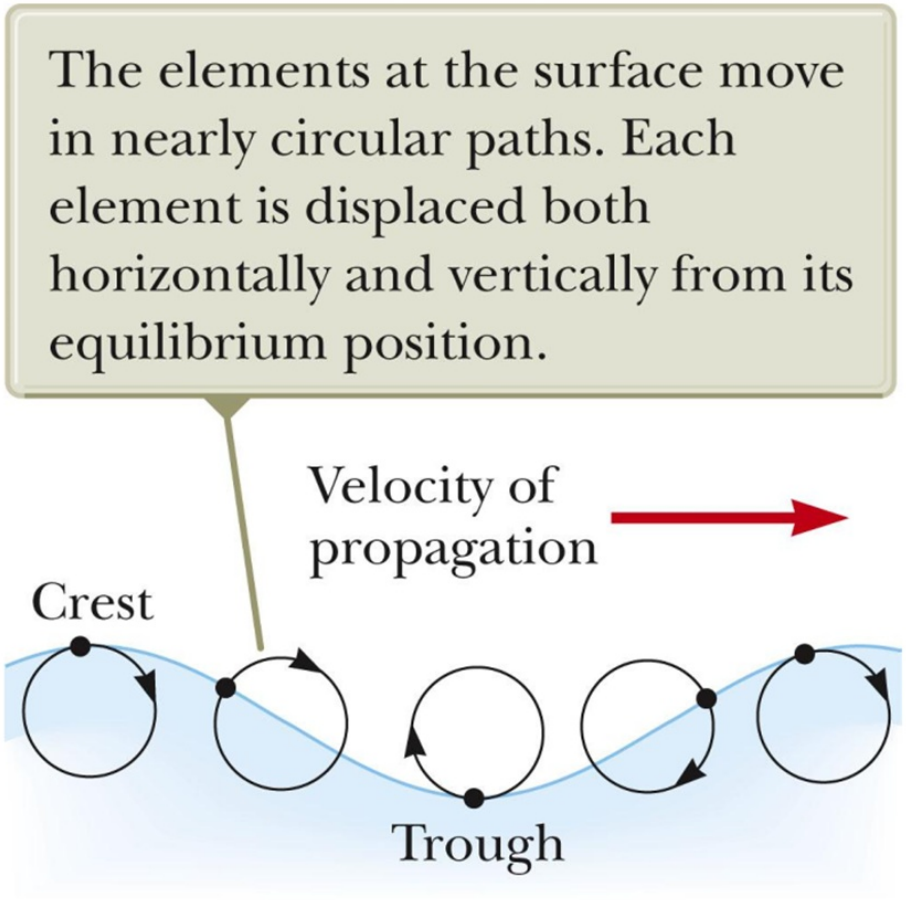
ترکیبی از دو موج عرضی و طولی

موج طولی P با سرعتی در حدود 7-8 km/s

موج عرضی S با سرعتی در حدود 4-5 km/s



المانهای آب در یک مسیر دایره ای حرکت می کنند که ترکیبی از دو موج عرضی و طولی هستند



رابطه حاکم بر انتشار موج

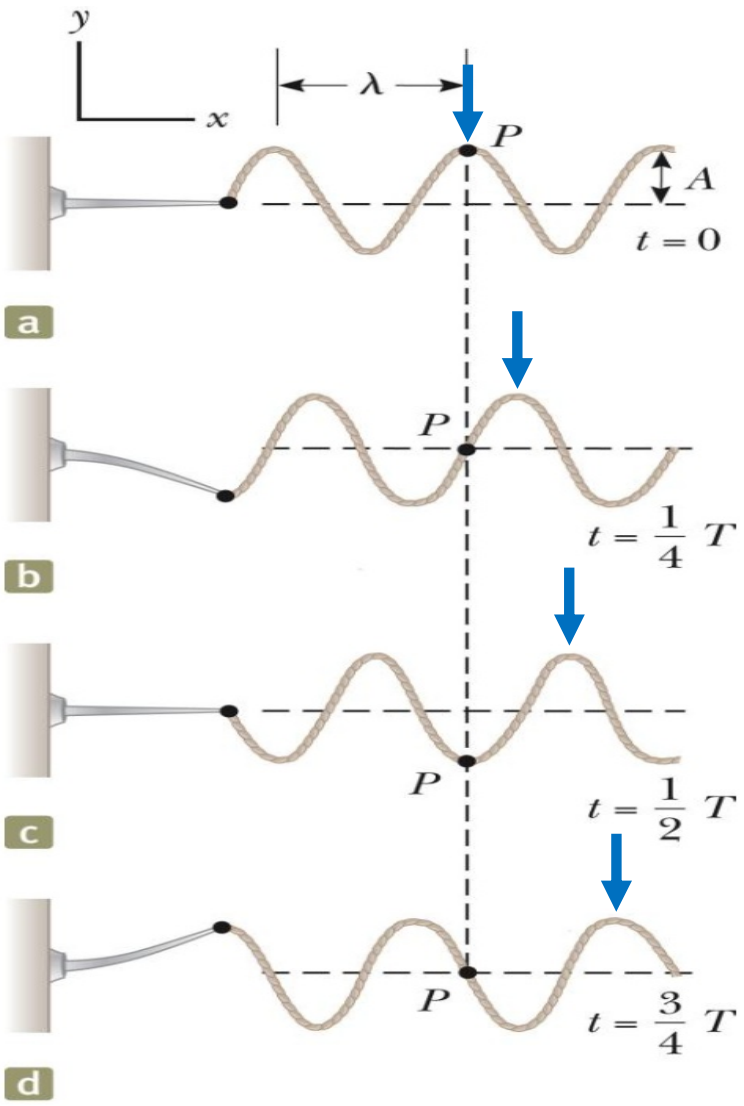
تابع ریاضی که بیانگر شکل موج عرضی منتشر شده در سیم مرتعش

$$y = f(x,t)$$

y : جابه جایی عرضی هر المان

x : موقعیت هر المان روی سیم

$$f \propto \sin \quad or \quad \cos$$



بیانگر رخ داد دو پدیده به طور همزمان:

جابه جایی عرضی هر المان سیم (نقطه P)

انتشار آشفتگی (موج) در سیم (حرکت پیکان)

تابع موج عرضی

$$y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t)$$

جابه جایی المان　　دامنه　　بخش نوسانی

۱- دامنه موج y_m:

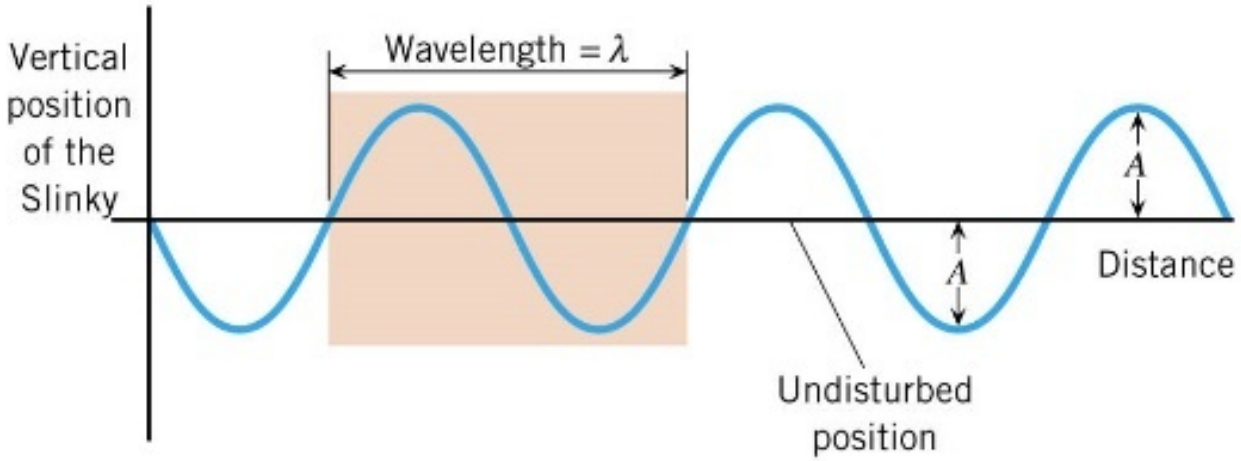
بیشینه جابه جایی هر المان محیط از مکان تعادلش هنگامی که موج از آن می گذرد

مقدار ثابت

۲- فاز موج (kx-ωt)

آرگومان تابع sin

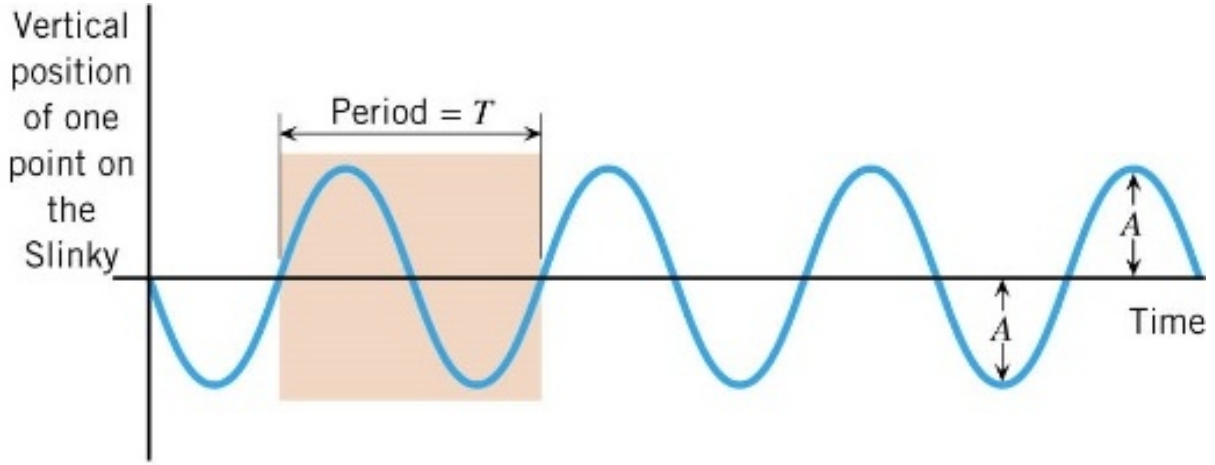
تغییر فاز موج ناشی از تغییر مکان و تغییر زمان



(a) At a particular time

تغییرات تابع موج نقاط مختلف محیط در یک لحظه خاص

تغییرات تابع موج یک نقطه از محیط در زمان های مختلف



(b) At a particular location

۳- تابع سینوسی:

$$-1 \le \sin(kx - \omega t) \le +1$$

قله (peak)

$y = +y_m$

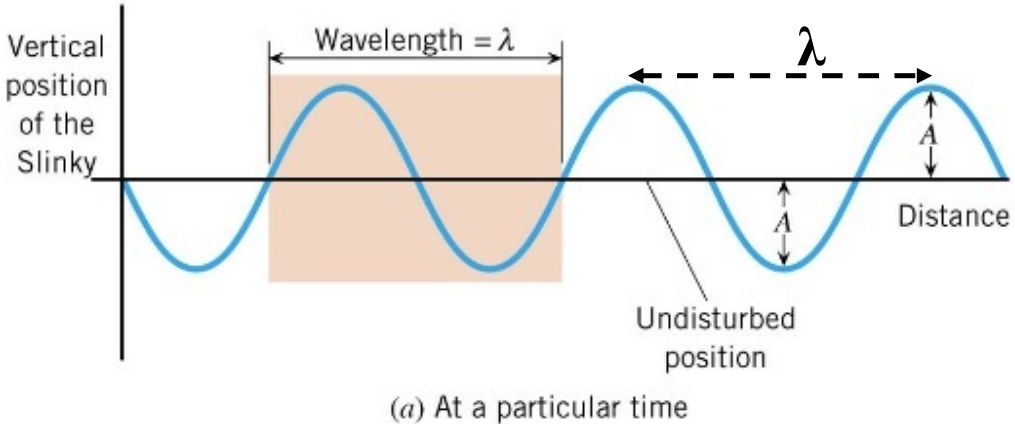
دره (valley)

$y = -y_m$

۴- طول موج λ:

فاصله میان تکرارهای متوالی در شکل موج

فاصله بین دو نقطه متوالی **هم ارتفاع** و **هم روند** (تابع در آن نقاط به صورت یکسان صعودی یا نزولی باشد)



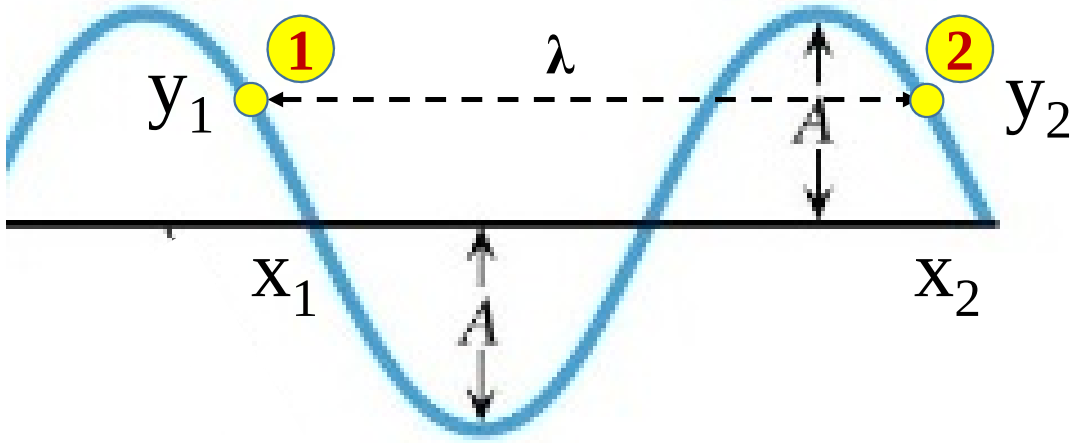
(a) At a particular time

تغییرات تابع موج نقاط مختلف محیط در یک لحظه خاص

$$y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t) \xrightarrow{t=0} y(x) = y_m \sin(kx)$$

۵- عدد موج k (Angular wave number):

بررسی دو نقطه در فاصله یک طول موج: دو نقطه هم ارتفاع



$$y_1 = y_2$$

$$y(x_1) = y(x_2) \qquad x_2 = x_1 + \lambda$$

$$y_m \sin kx_1 = y_m \sin kx_2$$

$$y_m \sin kx_1 = y_m \sin k(x_1 + \lambda)$$

$$\sin kx_1 = \sin (kx_1 + k\lambda)$$

شرط برقراری رابطه بالا

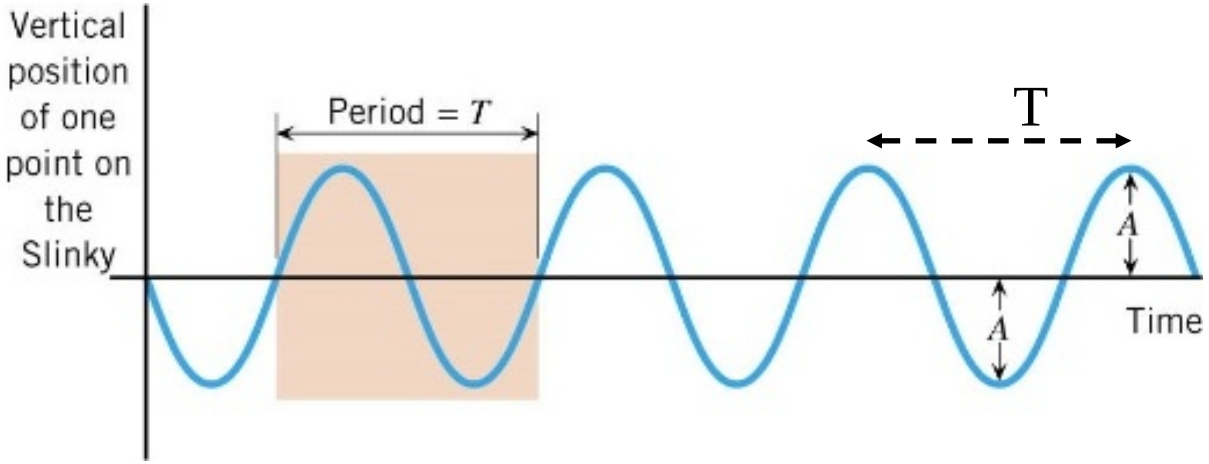
$$k\,\lambda = 2\pi$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

۶- دوره تناوب T:

مدت زمان یک رفت و برگشت کامل یک المان از سیم نسبت به وضعیت تعادل

مشاهده جابه جایی یک المان از محیط مرتعش (مثلا x = 0) در زمانهای مختلف



$$y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t) \xrightarrow{x=0} y(x) = -y_m \sin \omega t$$

۷- بسامد زاویه ای ω :

بررسی دو نقطه در فاصله یک دوره تناوب

$$y_1 = y_2$$

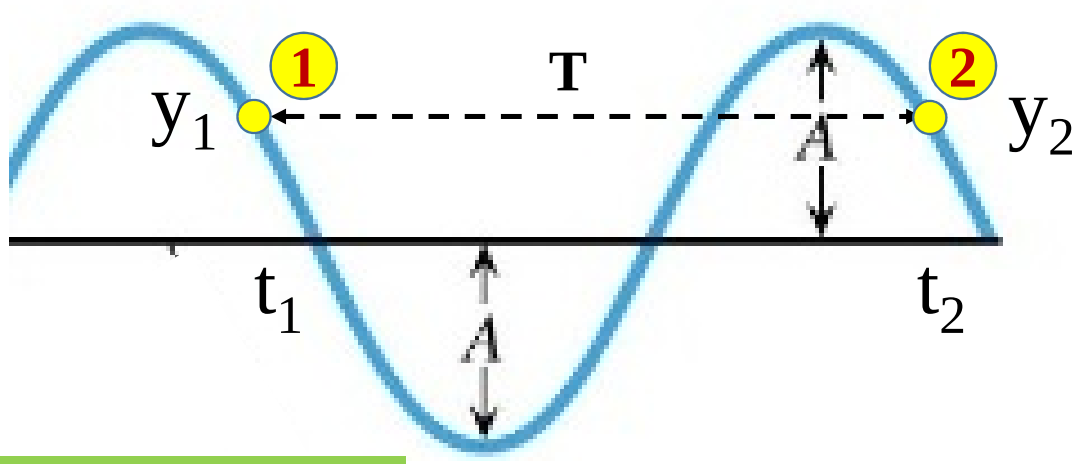
$$y(t_1) = y(t_2) \qquad t_2 = t_1 + T$$

$$-y_m \sin \omega t_1 = -y_m \sin \omega t_2$$

$$y_m \sin \omega t_1 = y_m \sin \omega(t_1 + T)$$

$$\sin \omega t_1 = \sin (\omega t_1 + \omega T)$$

$$\omega T = 2\pi$$

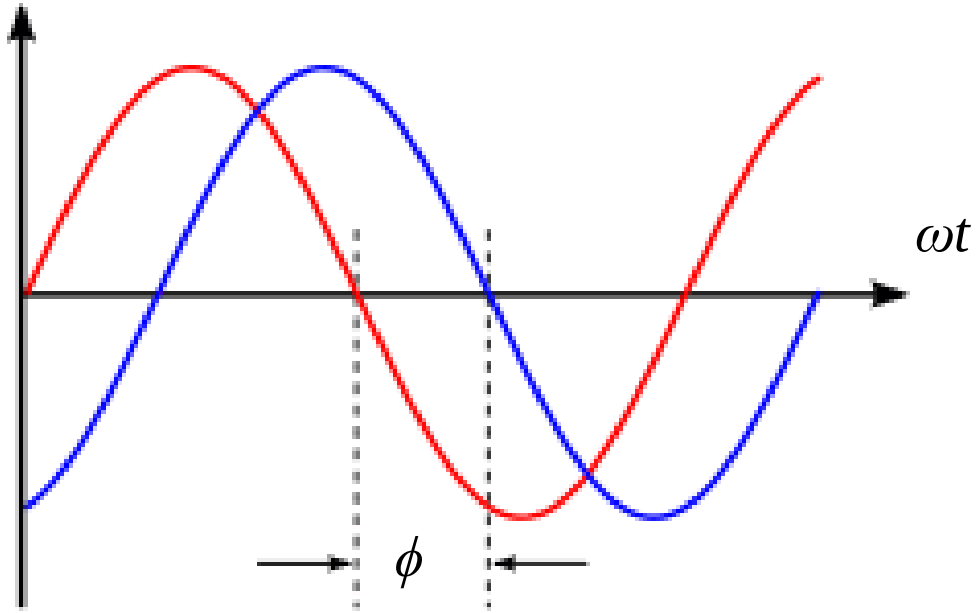


شرط برقراری رابطه بالا

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \rightarrow \quad f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

۸- ثابت فاز ϕ:

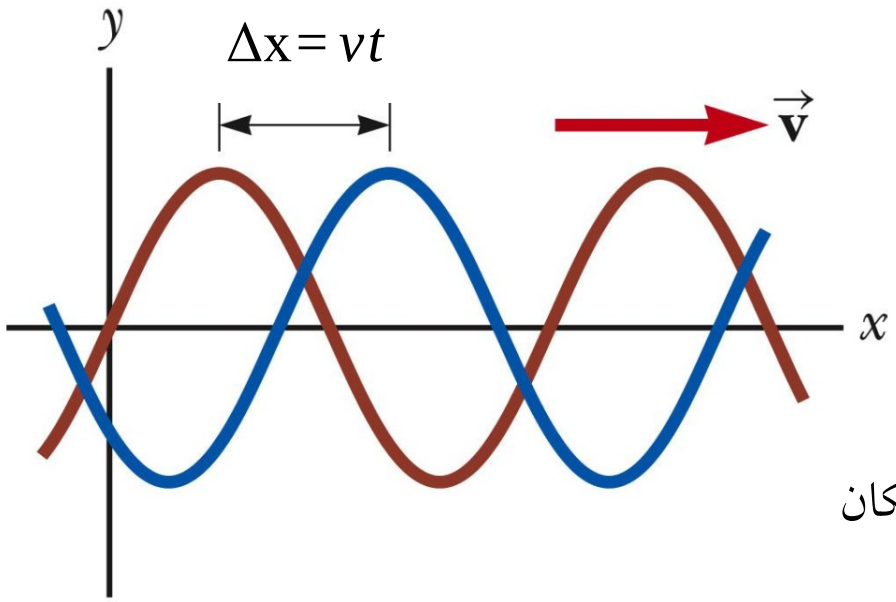
$$y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t + \phi)$$



x = 0
t = 0

$$\Rightarrow \quad y_0 = y_m \sin\phi \quad \rightarrow \quad \sin\phi = \frac{y_0}{y_m}$$

۹- سرعت موج در حال انتشار:



بررسی حرکت یک قله در حال حرکت :

جابه جایی هر نقطه از سیم مرتعش ← متغیر با زمان و مکان

ارتفاع هر نقطه از موج ← ثابت

$$y(x,t) = cons\tan t$$

$$y_m \sin(\underbrace{kx - \omega t}_{\text{ثابت}}) = cons\tan t$$

با گذشت زمان به گونه ای که x افزایش می یابد که kx-ωt ثابت بماند.

این نشان می دهد که موج یک پدیده در حال حرکت و انتشار است.

$$kx-\omega t=cons\tan t \quad \rightarrow \quad k\frac{dx}{dt}-\omega=0 \quad \rightarrow \quad \frac{dx}{dt}=\frac{\omega}{k} \quad \rightarrow \quad v=\frac{\omega}{k}$$

$$\left.\begin{array}{l} v=\dfrac{\omega}{k} \\ \omega=\dfrac{2\pi}{T} \\ k=\dfrac{2\pi}{\lambda} \end{array}\right\} \quad v=\frac{\frac{2\pi}{T}}{\frac{2\pi}{\lambda}}=\frac{\lambda}{T} \quad \rightarrow \quad v=\lambda f$$

سرعت موج = یک طول موج / دوره تناوب

۱۰- جهت انتشار موج:

$kx+\omega t = constant$

$t \uparrow \quad \rightarrow \quad x \downarrow$

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{\omega}{k} \quad \rightarrow \quad v = -\frac{\omega}{k}$$

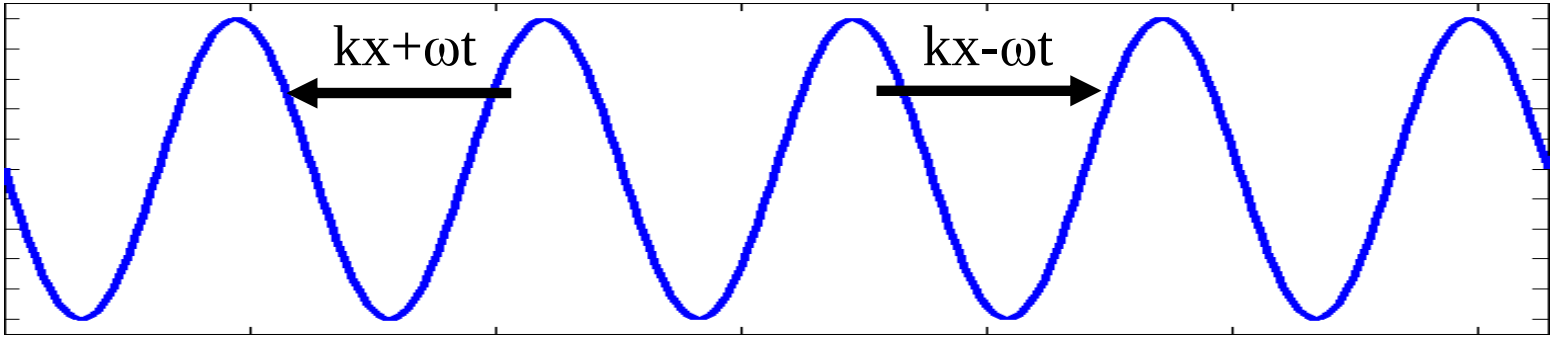
موج در جهت x های منفی حرکت می کند

$kx-\omega t = constant$

$t \uparrow \quad \rightarrow \quad x \uparrow$

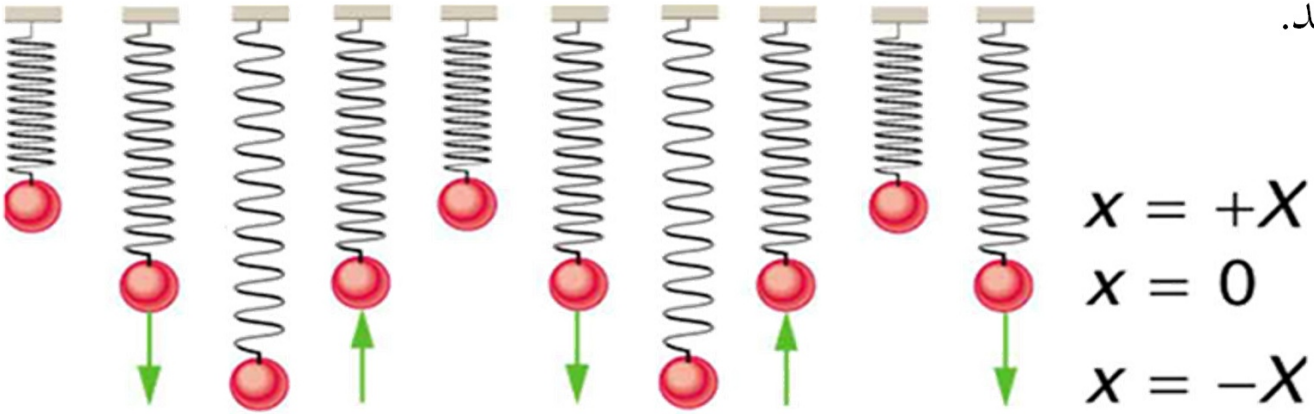
$$\frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k} \quad \rightarrow \quad v = +\frac{\omega}{k}$$

موج در جهت x های مثبت حرکت می کند



۱۱- سینماتیک حرکت المانهای تار مرتع:

در اثر عبور موج از درون یک محیط هر جزء آن مانند یک نوسانگر هماهنگ ساده و در راستای عمود بر سیم حول وضعیت تعادل خود نوسان می کند.



$$y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t)$$

$$u_y(x,t) = \frac{\partial y}{\partial t} = -\omega y_m \cos(kx - \omega t)$$

$$a_y(x,t) = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\omega^2 y_m \sin(kx - \omega t) = -\omega^2 y(x,t)$$

Film 4