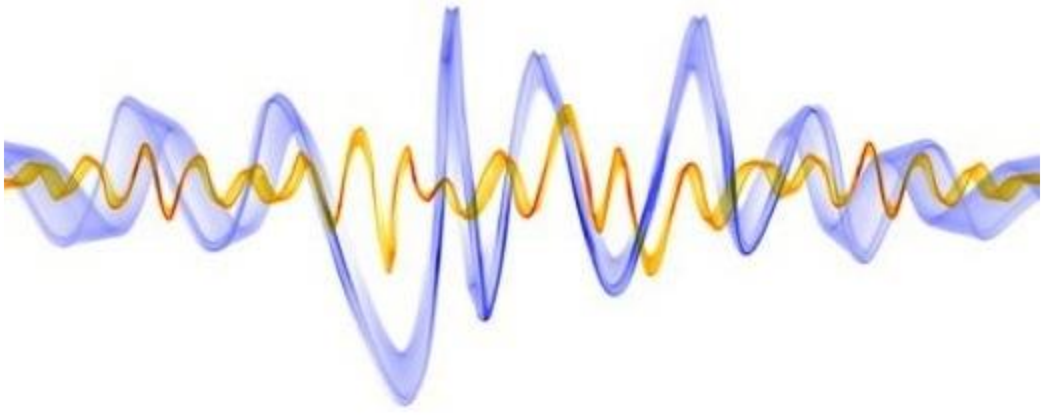
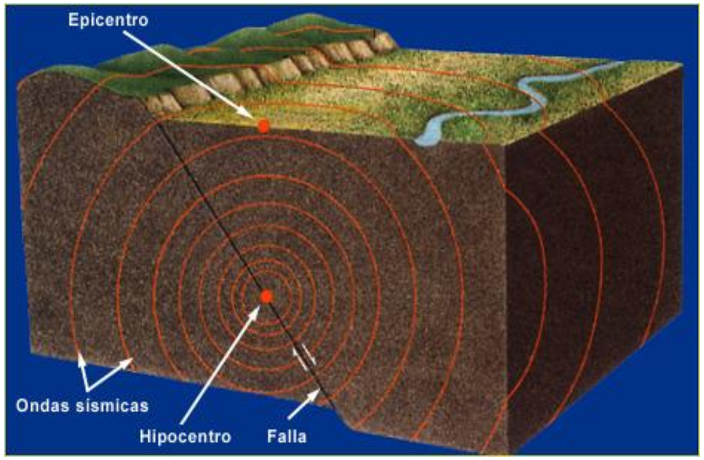
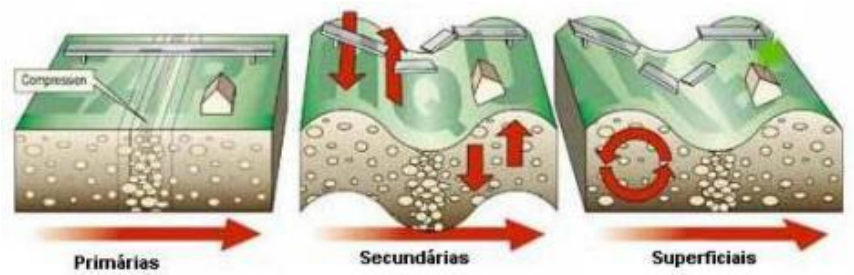
Módulo 03 – Física da Fala e da Audição

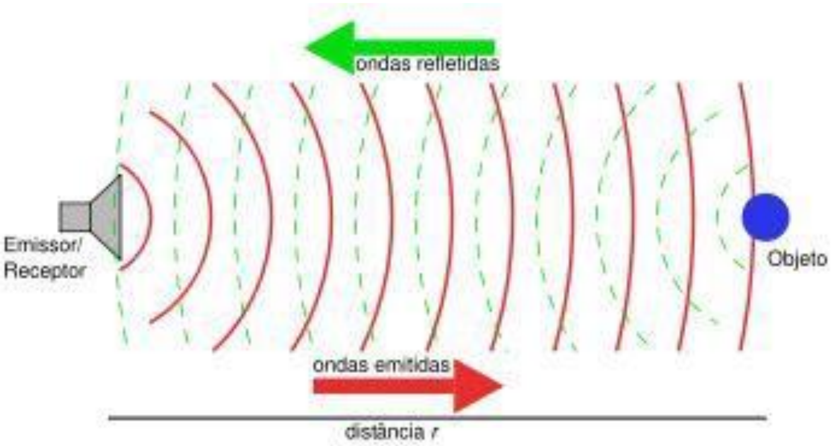
ONDAS



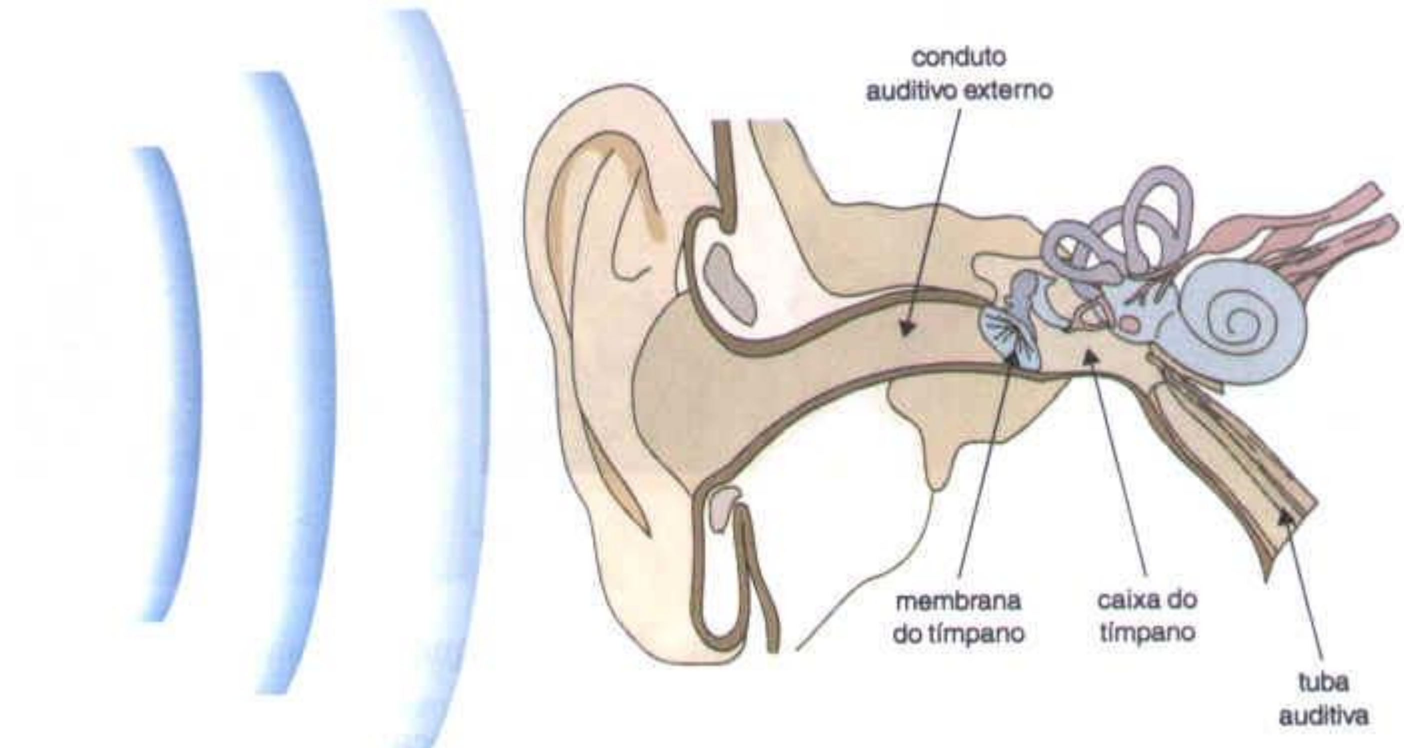
Ondas...


Epicentro
Ondas sísmicas
Hipocentro
Falla


Primárias
Secundárias
Superficiais

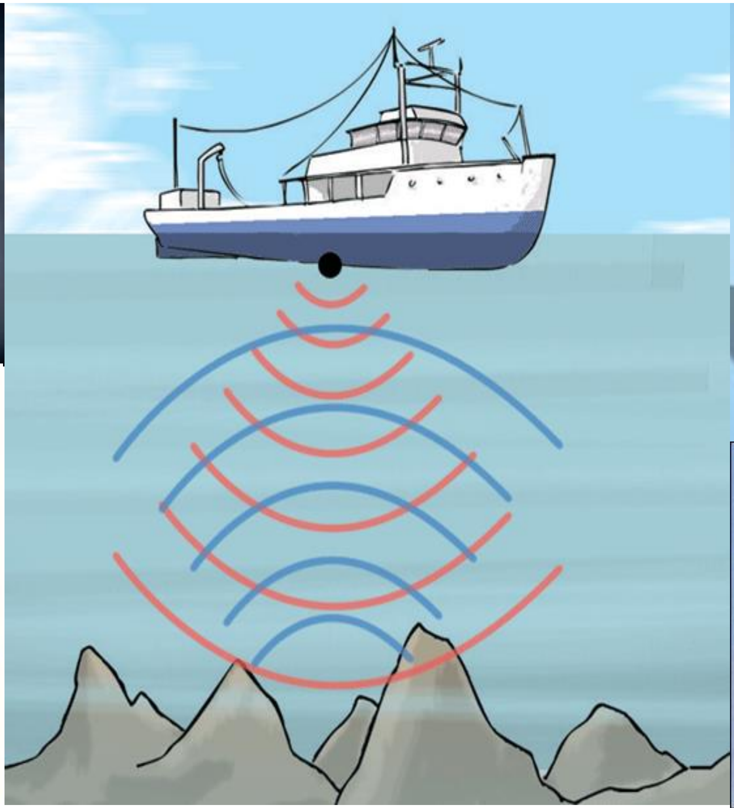

ondas refletidas
Emissor/
Receptor
Objeto
ondas emitidas
distância r

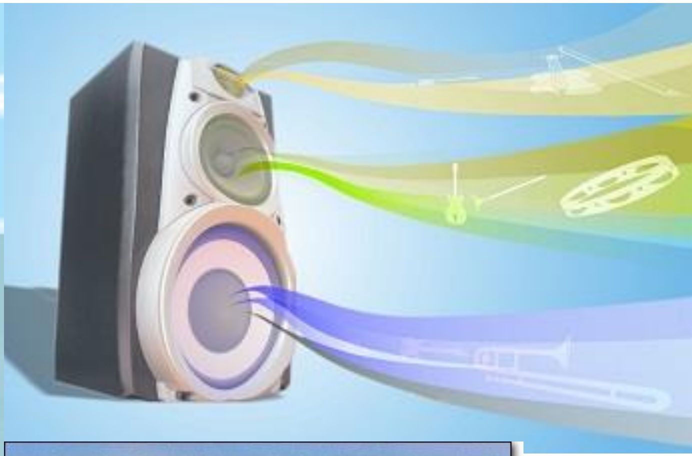
Ondas...


conduto
auditivo externo
membrana
do tímpano
caixa do
tímpano
tuba
auditiva

Tipos de Ondas

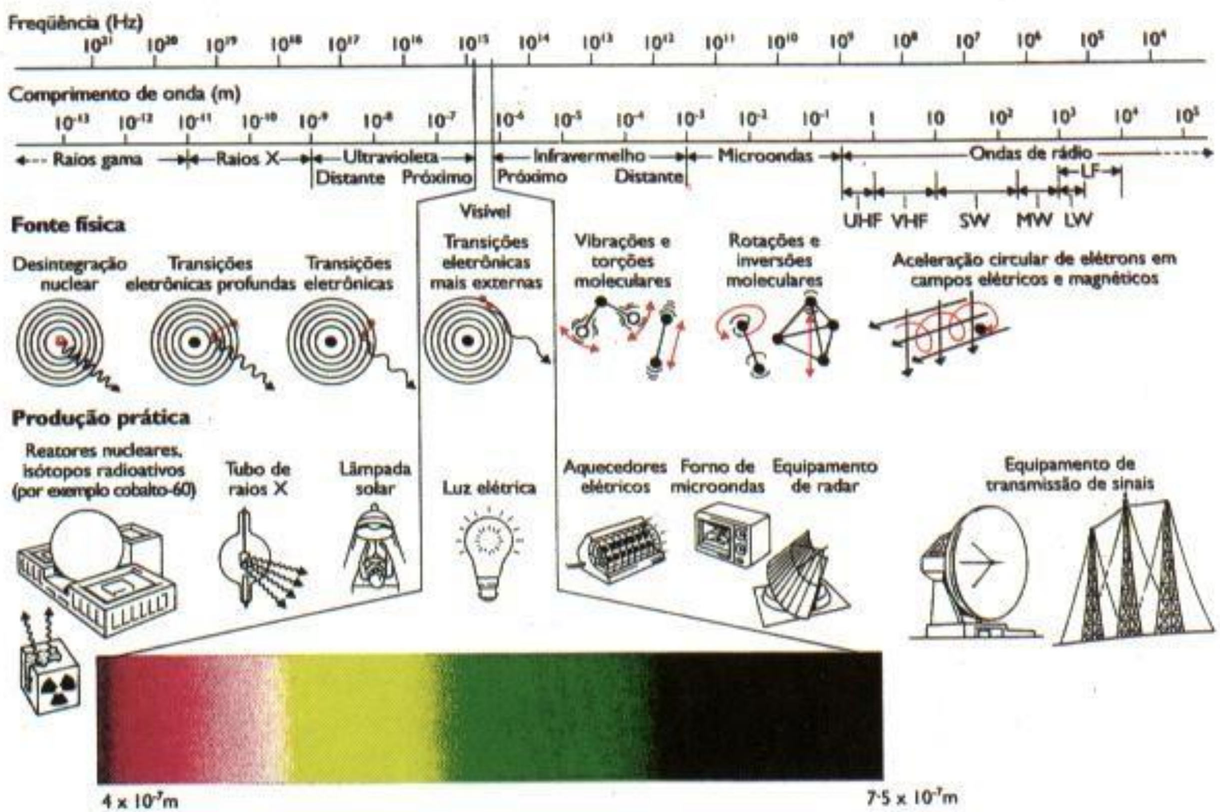
Ondas Mecânicas – São governadas pelas Leis de Newton e existem apenas em um meio material



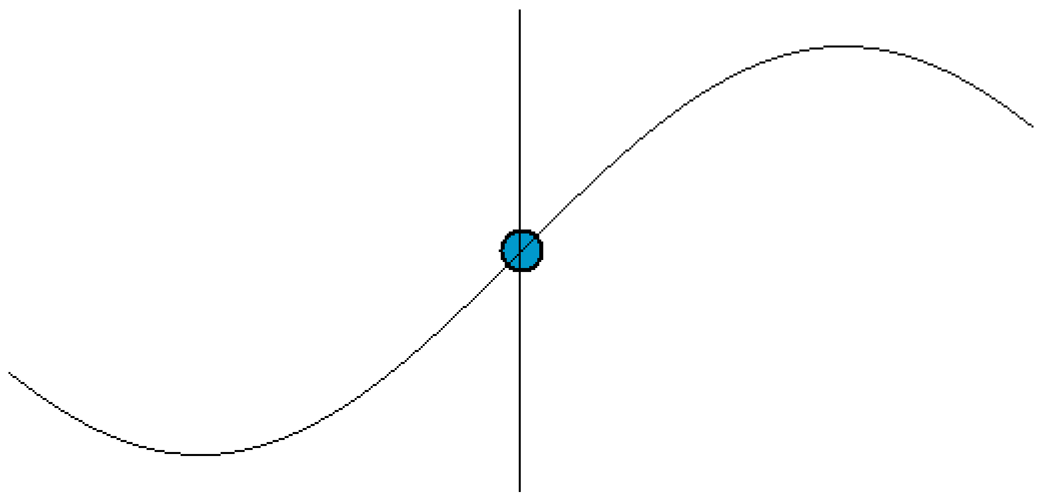


Tipos de Ondas

Ondas Eletromagnéticas – Não precisam de um meio material para se propagarem. Todas se propagam no vácuo com a mesma velocidade c = 299 792 458 m/s

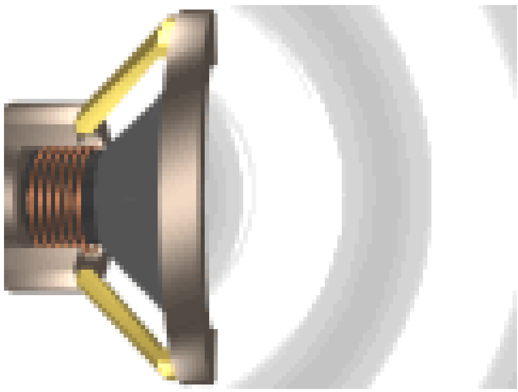


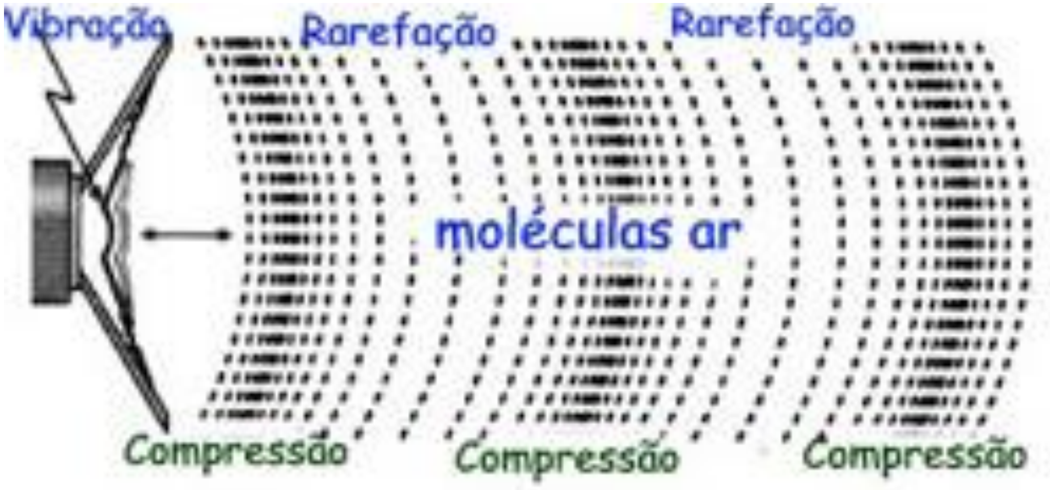
Ondas Transversais e Longitudinais

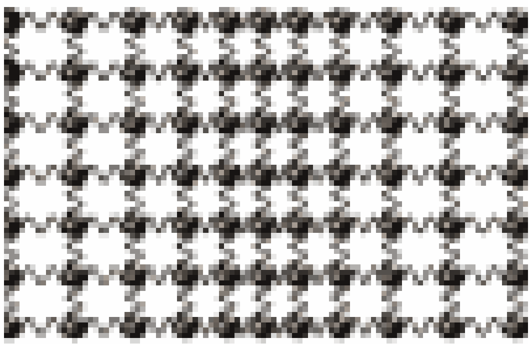


Onda Transversal – O deslocamento dos elementos é sempre perpendicular a direção de propagação...

Ondas Transversais e Longitudinais





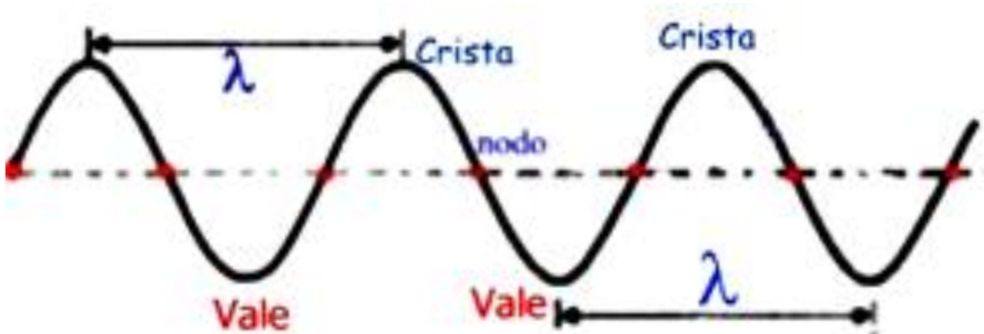


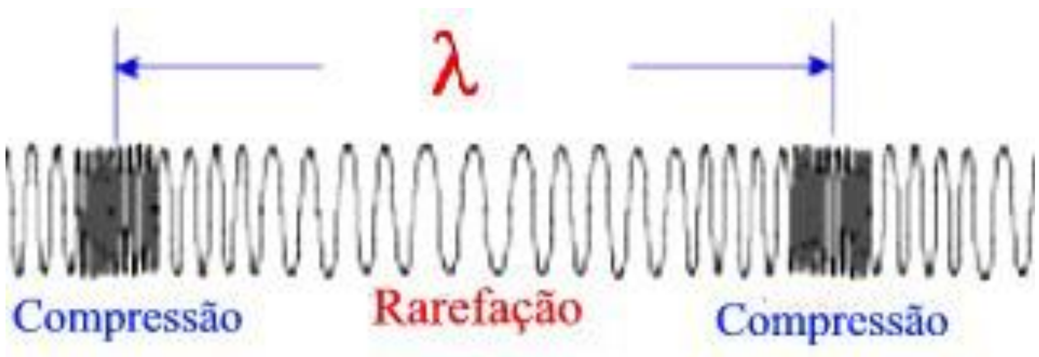
Onda Longitudinal – O deslocamento das moléculas de ar é paralelo à direção de propagação da onda...

Comprimento de Onda e Freqüência

$$\overbrace{y(x,t)}^{\text{Deslocamento}} = \overbrace{y_m}^{\text{Amplitude}}\,\overbrace{sen(\overbrace{\underset{\text{Número de Onda}}{k}\,\underset{\text{Posição}}{x} - \underset{\text{Freqüência Angular}}{\omega}\,\underset{\text{Tempo}}{t}}^{\text{Fase}})}^{\text{Fator Oscilatório}}$$

Comprimento de Onda e Freqüência





Comprimento de Onda e Freqüência

Número de Onda $\Rightarrow$ $$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Freqüência Angular $\Rightarrow$ $$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Período T – tempo que um elemento leva para realizar uma oscilação completa

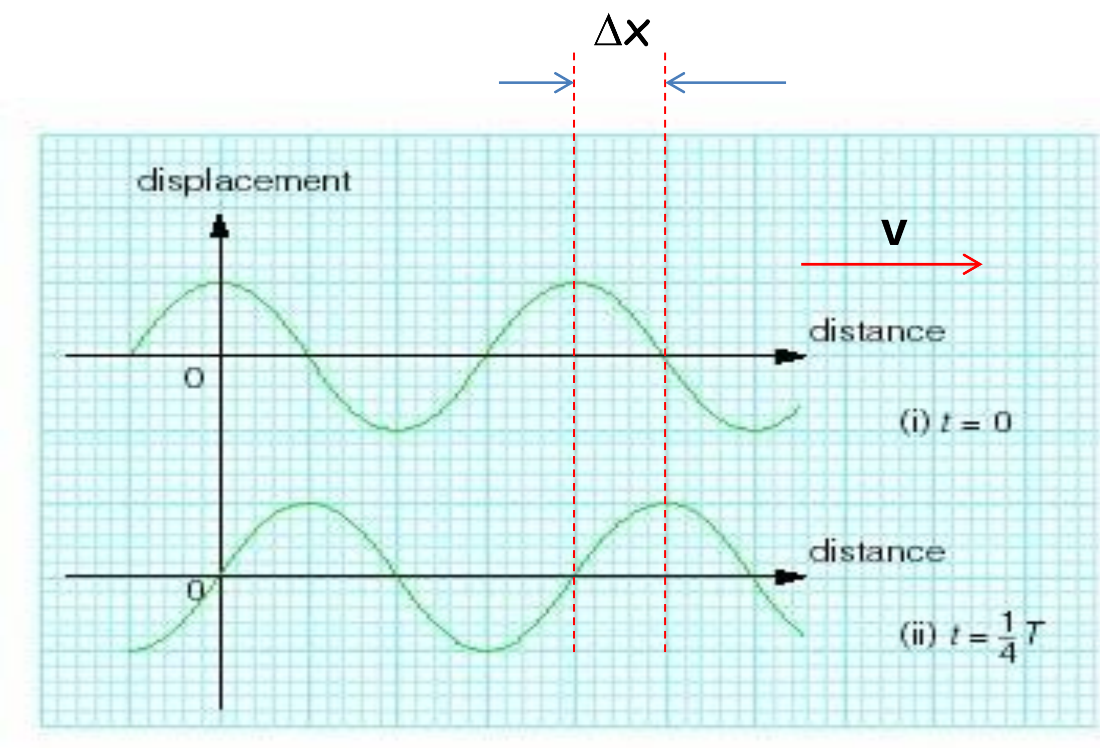
Freqüência $\Rightarrow$ $$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

Forma Geral

$$\boxed{y(x,t) = y_m sen(kx - \omega t + \phi)}$$

Constante de Fase

Velocidade de uma Onda Progressiva



$$kx - \omega t = constante$$

$$k\frac{dx}{dt} - \omega = 0$$

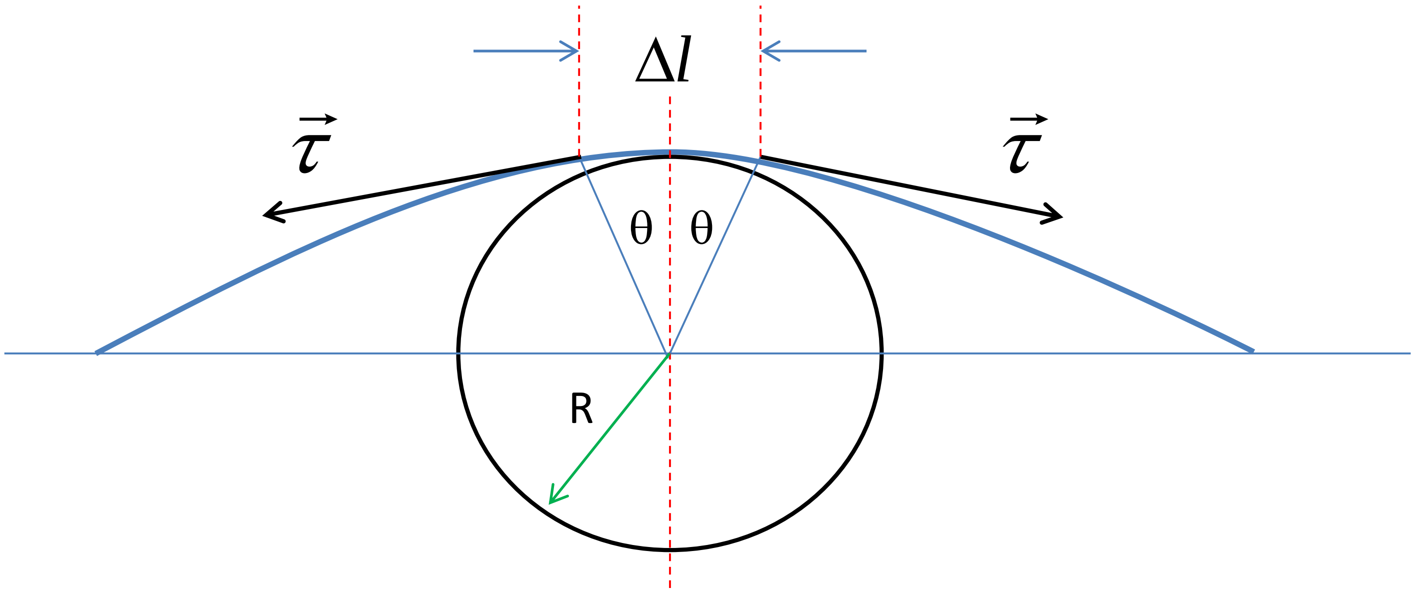
$$\frac{dx}{dt} = v = \frac{\omega}{k}$$

$$\boxed{v = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f}$$

$$y(x,t) = y_m sen(kx - \omega t)$$ Se propaga no sentido positivo de x

$$y(x,t) = y_m sen(kx + \omega t)$$ Se propaga no sentido negativo de x

Velocidade da Onda em uma Corda Esticada



Velocidade da Onda em uma Corda Esticada

As componentes horizontais se cancelam, mas as verticais se somam

$$F = 2(\tau sen\theta) \approx \tau(2\theta) = \tau\frac{\Delta l}{R}$$

A massa do elemento é dada por $\Delta m = \mu\Delta l$

Ele possui uma aceleração em direção ao centro do círculo $a = \dfrac{v^2}{R}$

Usando a 2ª Lei de Newton

$$\frac{\tau\Delta l}{R} = (\mu\Delta l)\frac{v^2}{R}$$

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}}$$ $\Rightarrow$ Conclusões?

EXERCÍCIO: (a) Escreva uma expressão que descreva uma onda transversal se propagando numa corda, no sentido $+x$ com um comprimento de onda de 10 cm, uma freqüência de 400 Hz e uma amplitude de $2,0$ cm. (b) Qual é a velocidade escalar máxima de um ponto da corda? (c) Qual é a velocidade escalar da onda?

EXERCÍCIO: Uma corda esticada tem uma massa por unidade de comprimento de $5,0$ g/cm e uma tensão de 10 N. Uma onda senoidal nessa corda tem uma amplitude de $0,12$ mm e uma freqüência de 100 Hz e se propaga no sentido de x decrescente. Escreva uma equação para essa onda.

Energia e Potência de uma Onda Progressiva

Energia cinética $dK = \frac{1}{2} dm u^2$ Onde u é a velocidade transversal

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

Fazendo $dm = \mu dx$ $\Rightarrow$ $dK = \frac{1}{2}(\mu dx)(-\omega y_m)^2 cos^2(kx - \omega t)$

Dividindo por dt $\Rightarrow$ $\frac{dK}{dt} = \frac{1}{2}\mu v \omega^2 y_m{}^2 cos^2(kx - \omega t)$

A taxa média de transporte de energia será

$$\left[\frac{dK}{dt}\right]_{méd} = \frac{1}{2}\mu v \omega^2 y_m{}^2 \left[cos^2(kx - \omega t)\right]_{méd} = \frac{1}{4}\mu v \omega^2 y_m{}^2$$

E a potência média $\boxed{P_{méd} = 2\left[\frac{dK}{dt}\right]_{méd} = \frac{1}{2}\mu v \omega^2 y_m{}^2}$

Equação de Onda

$$\boxed{\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}}$$

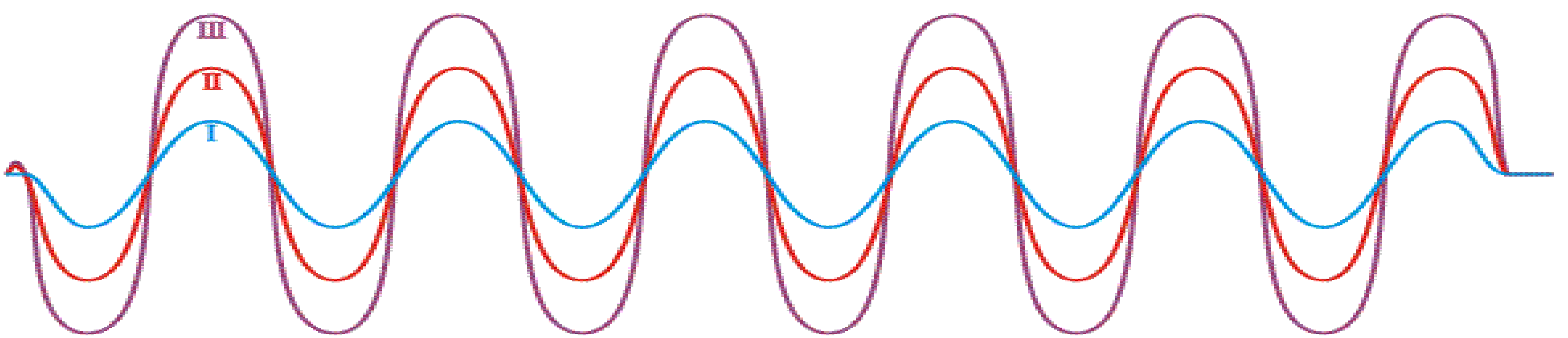
Esta é a equação diferencial geral que governa a propagação de ondas de todos os tipos

Princípio de Superposição

$$y'(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$$

Ondas superpostas se somam algebricamente para produzir uma onda resultante

Ondas superpostas não se afetam mutuamente



Interferência

$$y_1(x,t) = A\sin(kx - \omega t)$$

$$y_2(x,t) = A\sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t) = A\sin(kx - \omega t) + A\sin(kx - \omega t + \phi)$$

ϕ: Diferença de fase entre as ondas

$$sen\,a + sen\,b = 2\cos\left(\frac{a-b}{2}\right)\sin\left(\frac{a+b}{2}\right)$$

$$y(x,t) = 2A\cos\left(\frac{\phi}{2}\right)\sin\left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2}\right)$$

Interferência

Amplitude

Fase

$$y(x,t) = 2A\cos\left(\frac{\phi}{2}\right)\sin\left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2}\right)$$

Se $\phi = 0 \rightarrow$ Amplitude = 2A
Interferência construtiva

Se $\phi = \pi \rightarrow$ Amplitude = 0
Interferência destrutiva

Reflexão de ondas

- Cordas com uma extremidade fixa:
  - Pulso refletido retorna invertido com relação ao incidente

- Cordas com uma extremidade solta
  - Pulso refletido retorna igual ao incidente.

Reflexão de ondas

- Reflexão em uma interface suave-dura

- Reflexão em uma interface dura-suave

Formação de Ondas Estacionárias

Onda incidente

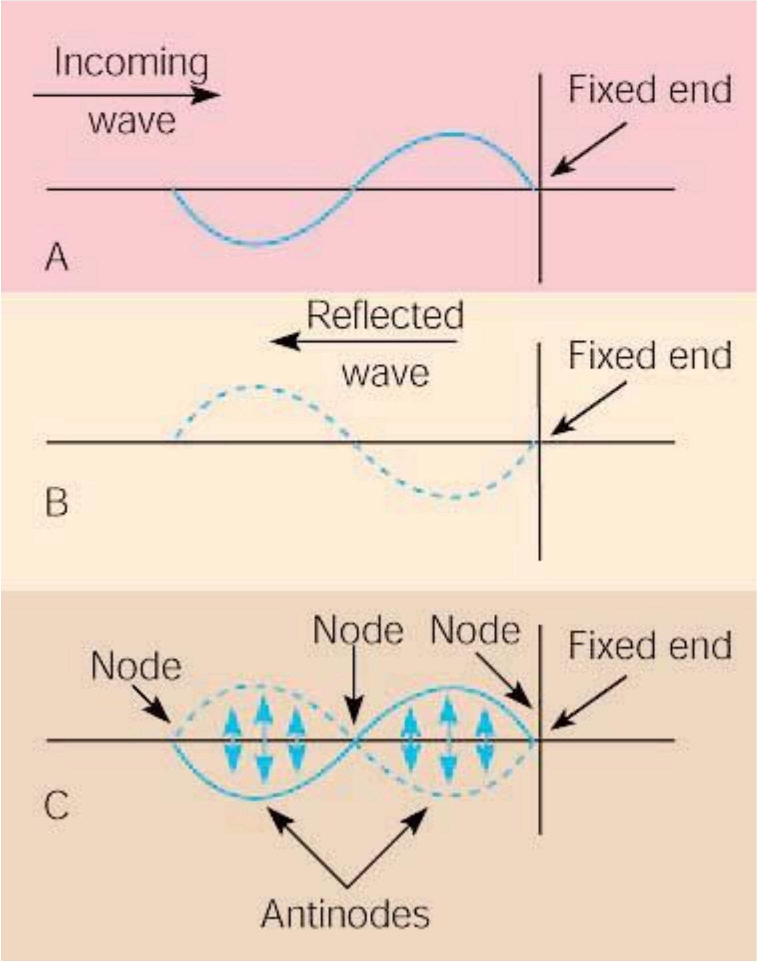
em extremidade fixa

+

Onda refletida

mesma amplitude e frequência

= Onda estacionária



Onda estacionária com 1 λ de comprimento: 3 nós e 2 anti-nós

Ondas Estacionárias

Se duas ondas senoidais de mesma amplitude e mesmo comprimento de onda se propagam em sentidos opostos em uma corda, a interferência mútua produz uma onda estacionária

$$y_1(x,t) = A\sin(kx - \omega t) \qquad y_2(x,t) = A\sin(kx + \omega t)$$

Usando o Princípio da Superposição e a relação

$$sen\, a + sen\, b = 2\cos\left(\frac{a-b}{2}\right)\sin\left(\frac{a+b}{2}\right)$$

$$\boxed{y(x,t) = 2A\sin(kx)\cos(\omega t)}$$

Ondas Estacionárias

Amplitude depende de x

$$y(x,t) = 2A\sin(kx)\cos(\omega t)$$

Variação temporal

NÃO tem termo *(kx-ωt)* $\rightarrow$ NÃO é uma onda progressiva
$\rightarrow$ É uma onda estacionária

Pontos de amplitude máxima

$$kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \ldots = \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi$$

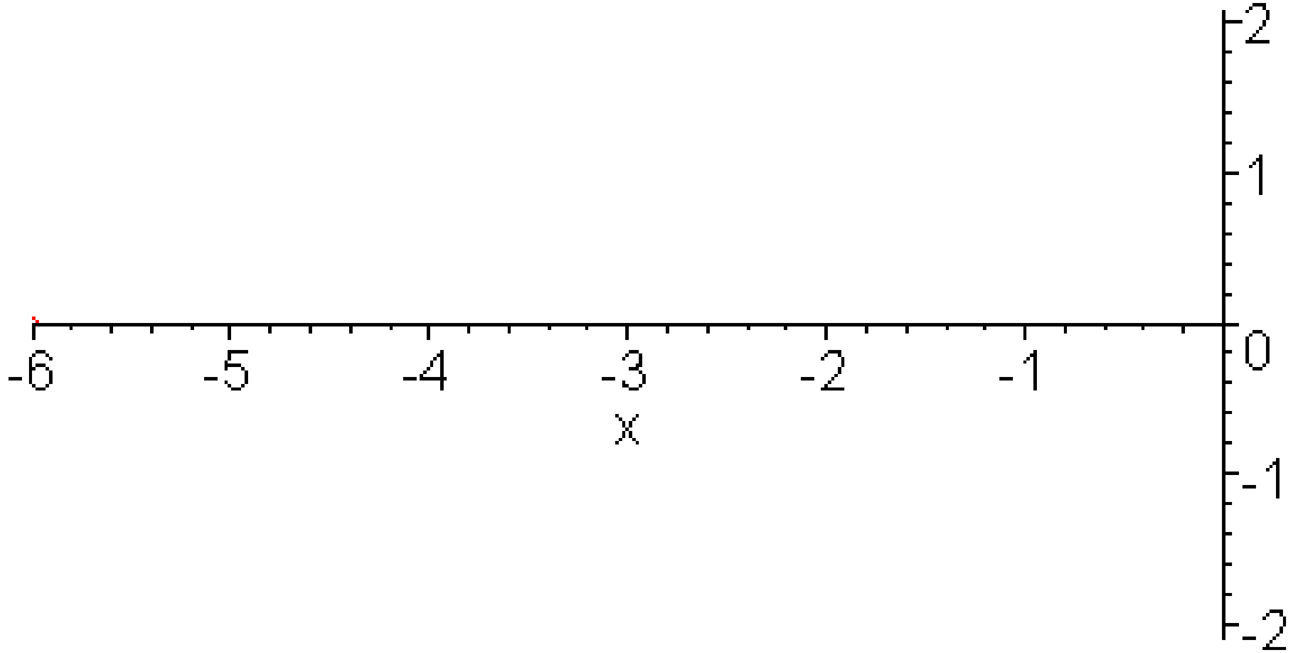
ANTI-NÓS

Pontos de amplitude zero

$$kx = 0, \pi, 2\pi, \ldots = n\pi$$

NÓS

Formação de Ondas Estacionárias



Formação de Ondas Estacionárias

Onda incidente

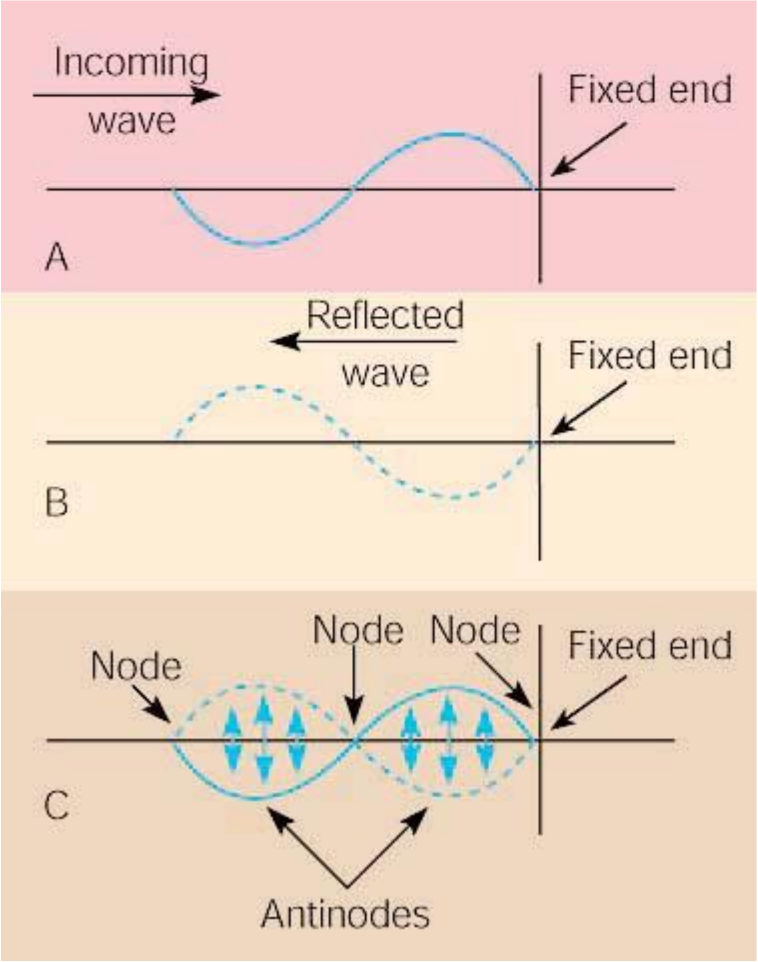
em extremidade fixa

+

Onda refletida

mesma amplitude e frequência

= Onda estacionária



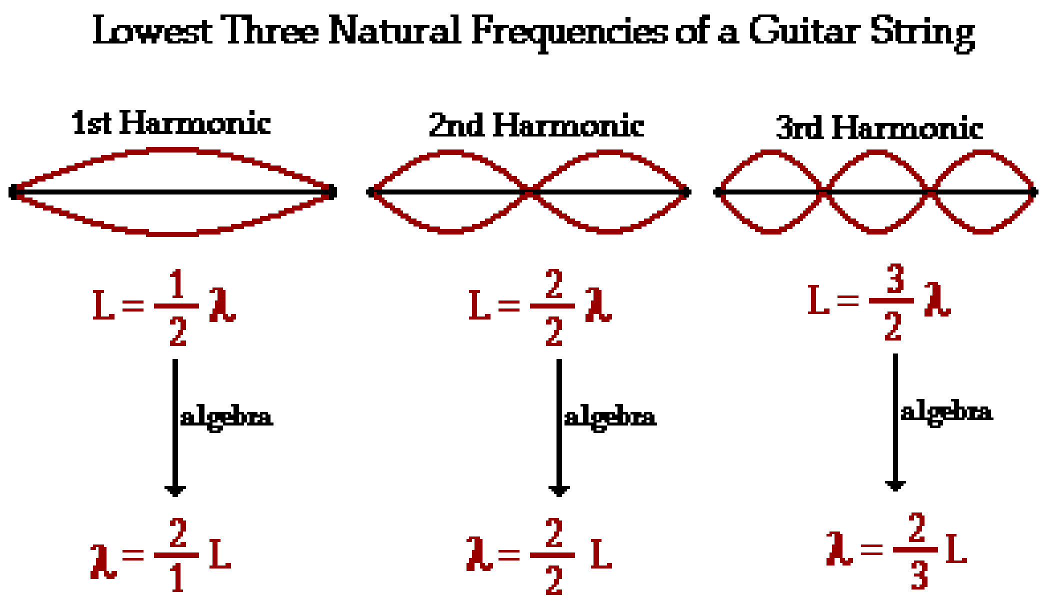
Onda estacionária com 1 λ de comprimento: 3 nós e 2 anti-nós

Formação de Ondas Estacionárias

Comprimentos de onda / Frequências ressonantes:

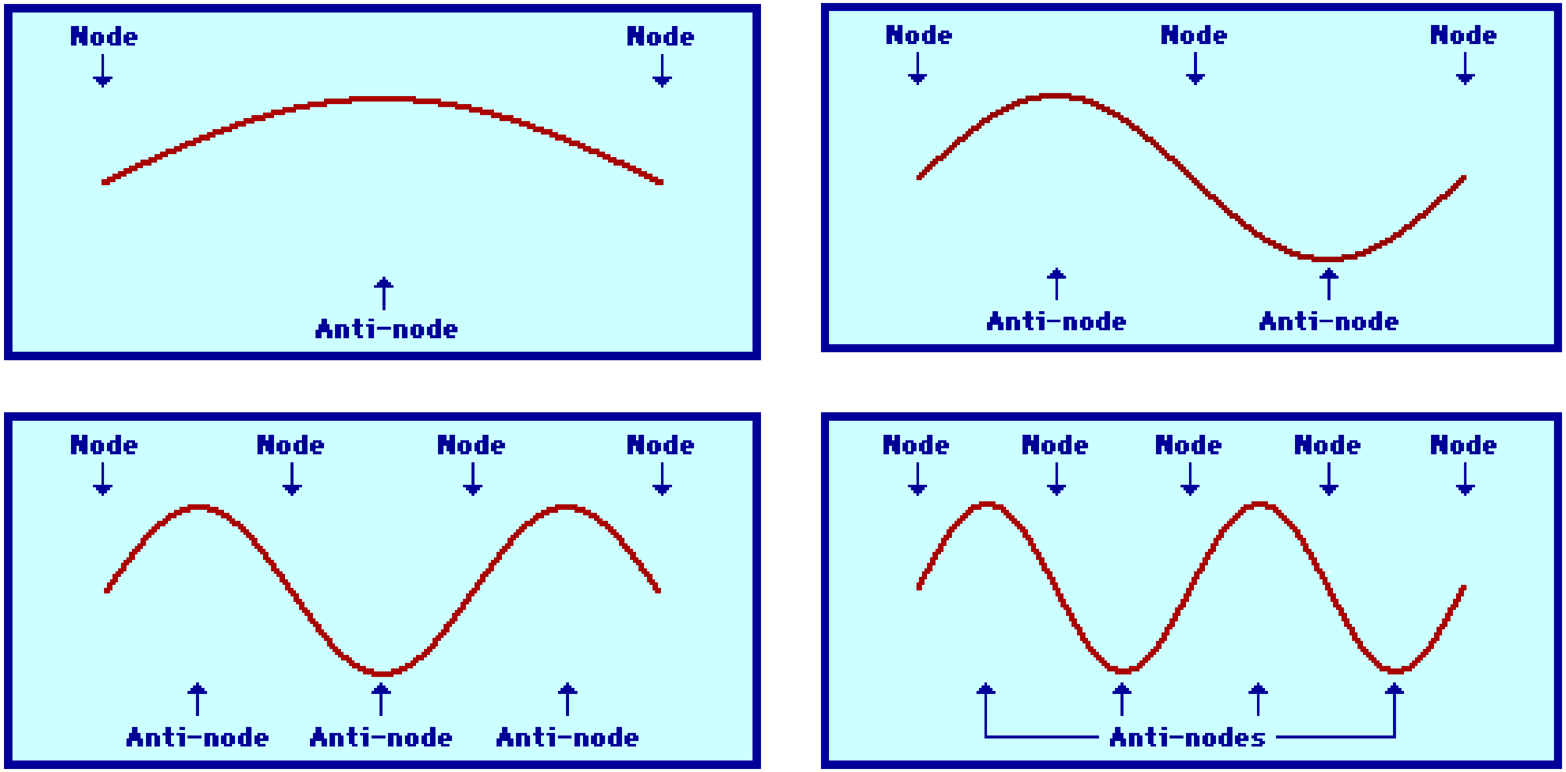
$$L = n\frac{\lambda}{2} \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L}$$



Menor frequência: FREQUÊNCIA FUNDAMENTAL
Demais frequências: SOBRETONS / HARMÔNICAS

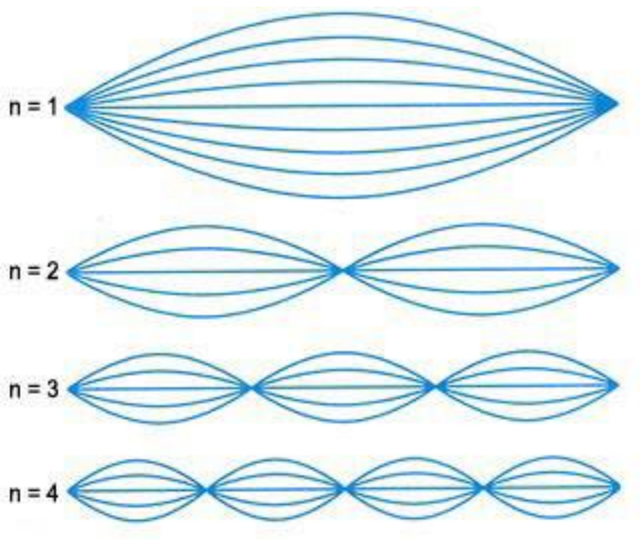
Formação de Ondas Estacionárias



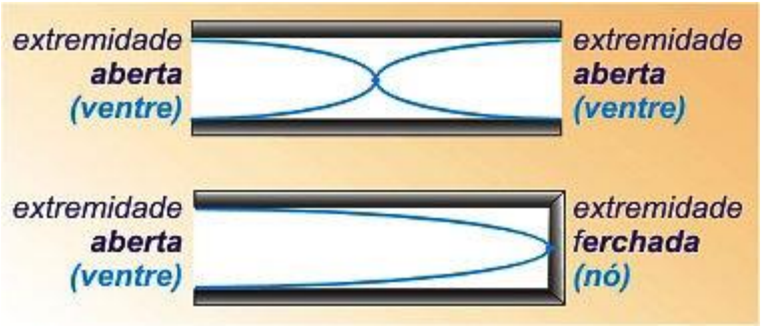
Simulador de cordas http://www.falstad.com/loadedstring/

Formação de Ondas Estacionárias

Cordas



Tubos



EXERCÍCIO: Uma corda sob tensão τ_i oscila no terceiro harmônico com uma freqüência f_3, e as ondas na corda tem comprimento de onda λ_3. Se a tensão for aumentada para $\tau_f = 4\,\tau_i$ e a corda novamente levada a oscilar no terceiro harmônico, qual será (a) a freqüência de oscilação em termos de f_3 e (b) o comprimento de onda em termos de λ_3?

EXERCÍCIO: Uma corda de violão, de náilon, tem uma densidade linear de $7,2$ g/m e está sob uma tensão igual a 150 N. Os suportes fixos estão distanciados 90 cm. A corda está oscilando de acordo com o padrão de onda estacionária mostrado na Fig. 17-27. Calcule (a) a velocidade escalar, (b) o comprimento de onda e (c) a freqüência das ondas cuja superposição origina esta onda estacionária.