

Física 3

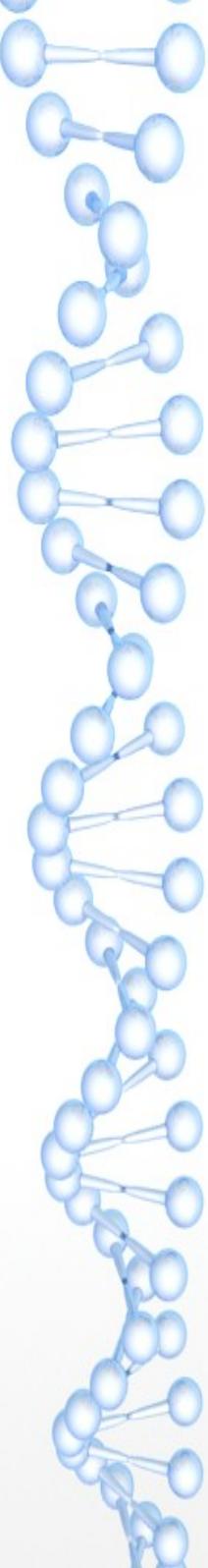
(1/2015)

Teoria Ondulatória

Aula 16

Carlos Eduardo Souza (Cadu)
carlooseduardosouza@id.uff.br

Site: cursos.if.uff.br/fisica3-0115/

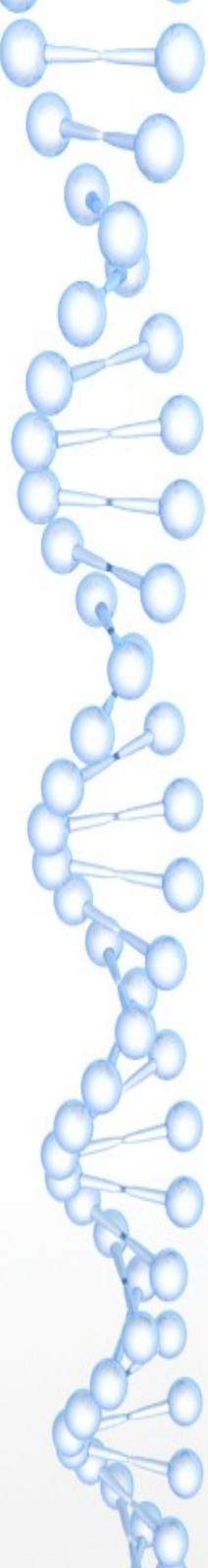


Ondas Senoidais

Teste Conceitual 1

Uma onda senoidal transversal está viajando em uma corda.
Qualquer ponto da corda:

- A) se move na mesma direção que a onda
- B) se move em movimento harmônico simples com uma frequência diferente da frequência da onda
- C) se move em movimento harmônico simples com a mesma frequência angular da onda
- D) se move em movimento circular uniforme com a mesma velocidade angular que a onda

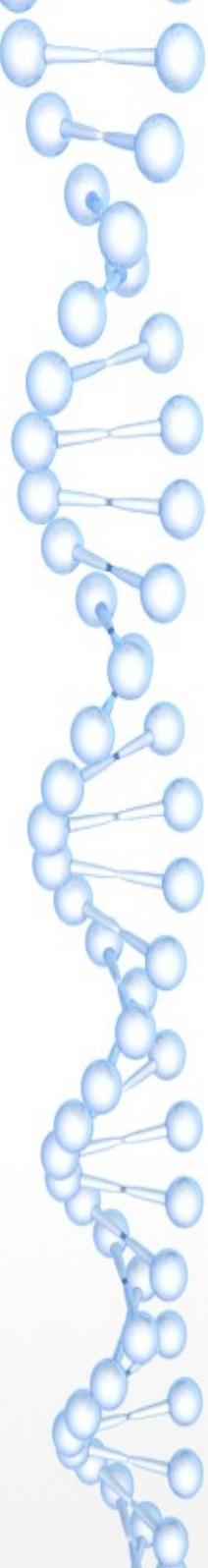


Ondas Senoidais

Teste Conceitual 2

Para uma dada onda transversal em uma corda, o deslocamento é descrito por $y(x, t) = f(x - at)$, onde f é uma função dada e a é uma constante positiva. Qual das seguintes sentenças não é correta?

- A) A forma de onda não muda enquanto a onda se move ao longo da corda.
- B) A onda se move na direção x positiva.
- C) A velocidade da onda é a .
- D) A velocidade da onda é x/t .



Ondas Senoidais

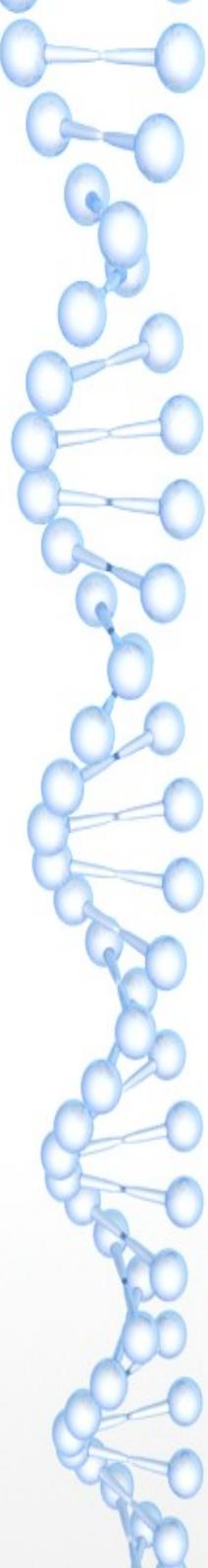
Teste Conceitual 3

O deslocamento de uma onda é dado por

$$y(x,t) = A \sin(kx + \omega t).$$

O comprimento de onda é dado por

- A) k/ω
- B) ωk
- C) $2\pi/k$
- D) $k/2\pi$



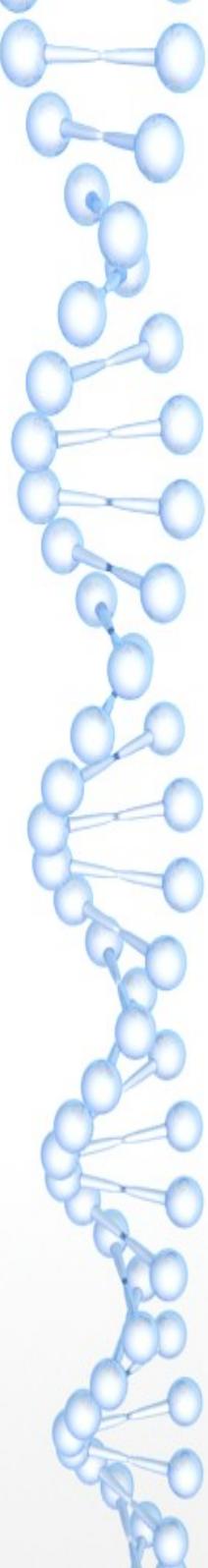
Ondas Senoidais

Teste Online

1º questão - Uma onda senoidal se propaga em uma corda. Qual é o tipo de movimento descrito por um único ponto desta corda?

Estudante 1 - (03/02/2016 01:36:09) “Uma onda senoidal é uma onda cuja fonte oscila em Movimento Harmônico Simples (MHS), portanto, cada partícula do seu meio descreve um MHS de frequência f . Sendo o meio em questão uma corda, pode-se concluir que o movimento realizado por qualquer ponto da mesma será harmônico simples (MHS), pois essa é uma característica das ondas senoidais.A ”

Estudante 2 - (03/02/2016 11:39:31) “Movimento retilíneo.”



Ondas Senoidais

Teste Online

2º questão - A equação de movimento de uma onda em uma corda é: $y(x,t) = Y_m \cdot \text{sen}(kx + \omega t)$. Quanto vale o comprimento de onda?

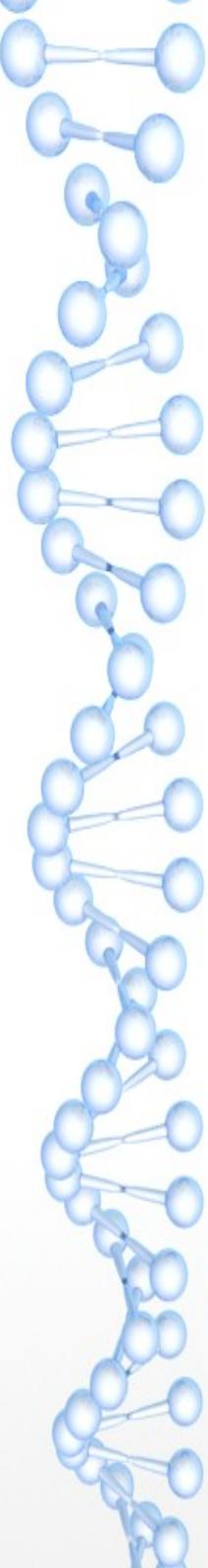
Estudante 1 - (02/02/2016 18:25:31) “Sabendo que

$k = 2(\pi)/\lambda$ então $\lambda = 2(\pi)/k$.

Por outro lado $V = (\lambda \cdot f)$, logo $\lambda = V/k \cdot f$ ”

Estudante 2 - (03/02/2016 12:02:20)

“O comprimento de onda é ω/k ”



Ondas Senoidais

Teste Online

3º questão - Qual a diferença de fase entre dois pontos (de uma onda sonora) separados por 60cm?

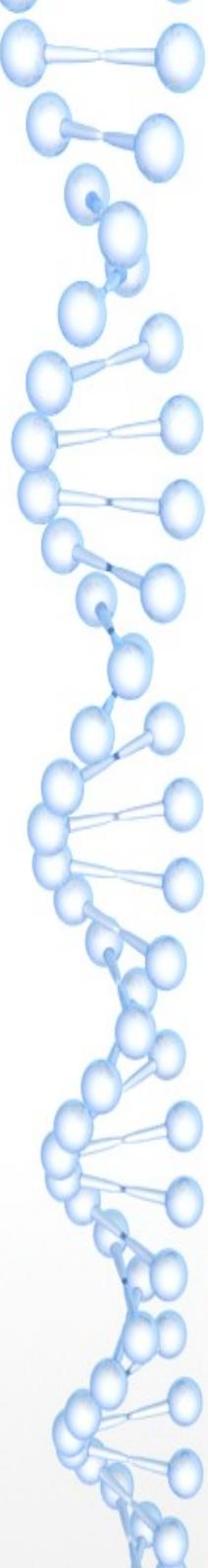
Estudante 1 - (03/02/2016 11:55:02)

"É impossível saber sem antes conhecer, pelo menos, a frequência, o comprimento de onda."

Estudante 2 - (03/02/2016 02:38:45)

$$\text{D.F.} = 2 \cdot \pi \cdot 0,6 \cdot f / 343$$

$$\text{D.F.} = 0,011 \cdot f$$



Ondas Senoidais

Teste Online

4º questão - Qual o intervalo de frequência ouvido por nós humanos?

Estudante 1 - (01/02/2016 08:53:53)

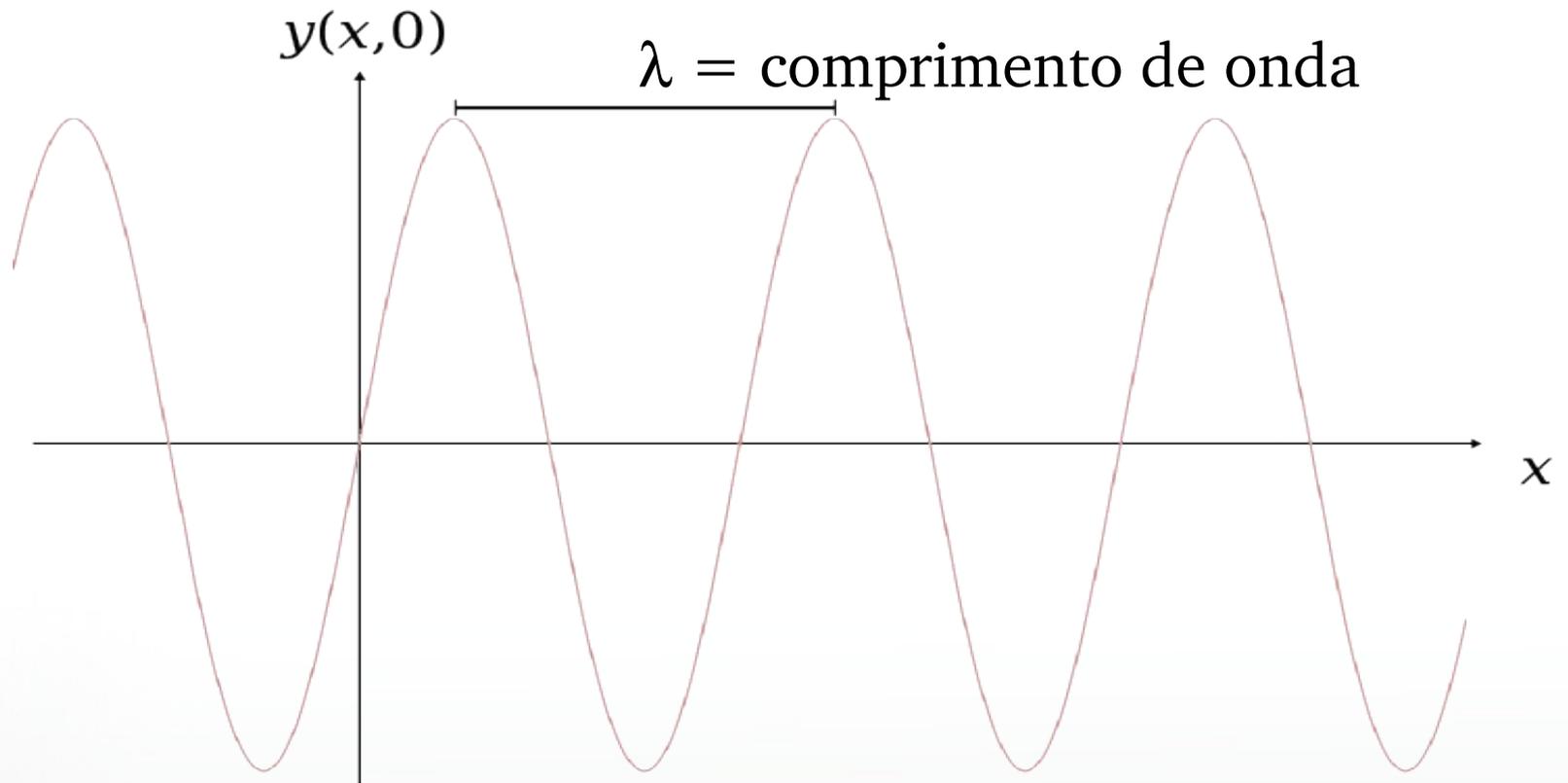
“A audição humana cobre uma faixa de intensidades que vai do 'limiar de audição', em 1×10^{-12} W/m² (em frequências médias), até o 'limiar da dor', em 10 W/m². Essa faixa de frequências na Escala Decibel corresponde ao intervalo compreendido ente 0 dB-130 dB.”

Estudante 2 - (03/02/2016 11:07:42)

“Aproximadamente 20Hz e 8000Hz, ou 20kHz.”

Ondas Senoidais

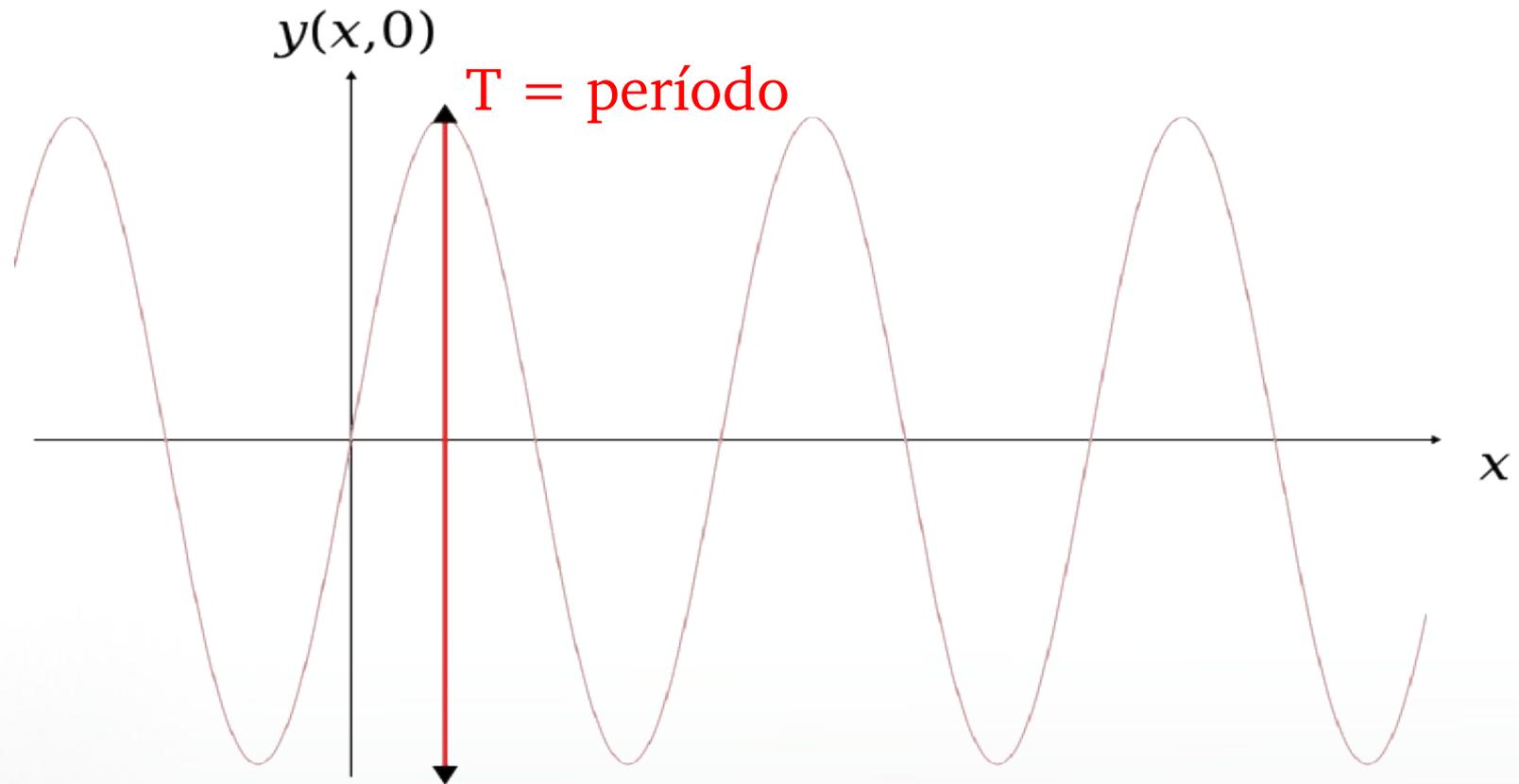
$$y(x, 0) = A \operatorname{sen}\left[\frac{2\pi}{\lambda} x\right] \quad \text{Gráfico-instantâneo (t=0)}$$



Um comprimento de onda é a distância entre dois pontos adjacentes que têm a mesma fase.

Ondas Senoidais

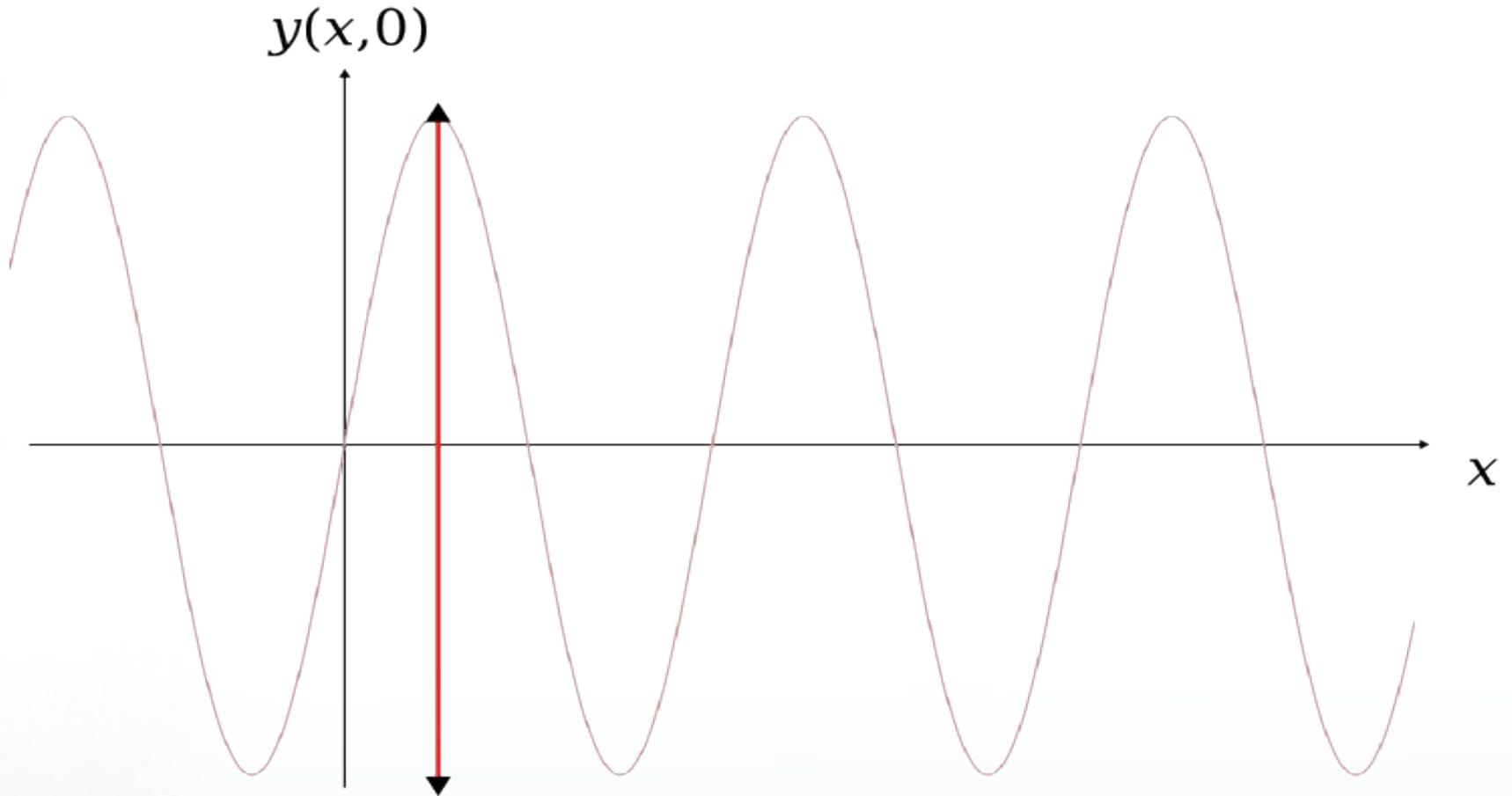
$$y(x, 0) = A \operatorname{sen}\left[\frac{2\pi}{\lambda} x\right]$$



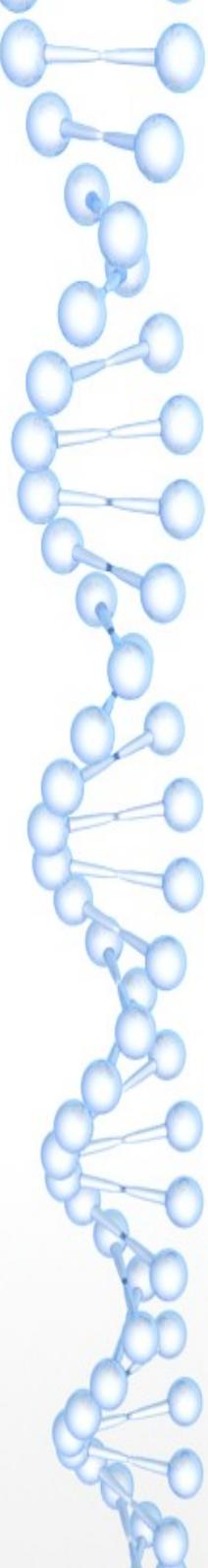
O Período é o tempo necessário para que qualquer ponto da abscissa complete um ciclo

Ondas Senoidais

$$y(x, 0) = A \operatorname{sen}\left[\frac{2\pi}{\lambda} x\right] \quad \text{Gráfico-instantâneo (t=0)}$$



Em um Período... $\Delta x = vT = \lambda \rightarrow v = \lambda/T \rightarrow v = \lambda f$

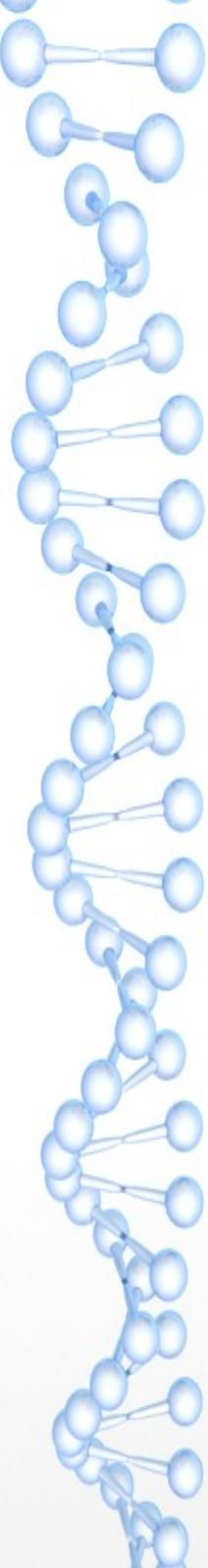


Ondas Senoidais

No caso geral,

$$y(x, t) = A \text{sen}[kx - \omega t + \phi]$$

Onde definimos $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ e $\omega = \frac{2\pi}{T}$



Ondas Senoidais

No caso geral,

Fase da onda $\rightarrow \phi(t)$

$$y(x, t) = A \text{sen} [kx - \omega t + \phi]$$

Onde definimos $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ e $\omega = \frac{2\pi}{T}$

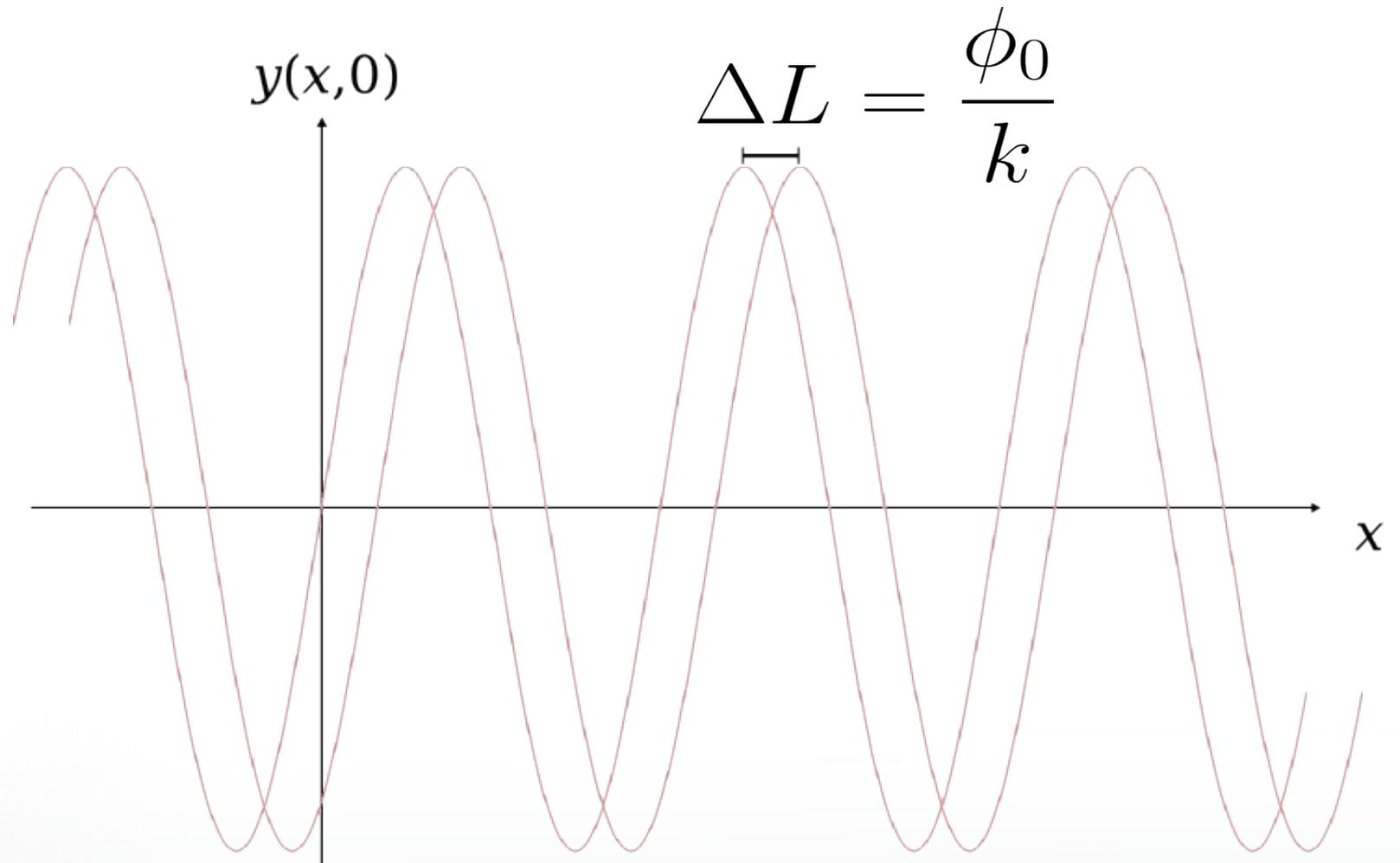
Se duas ondas tiverem a mesma fase, isto é,

$$\phi_1(t) - \phi_2(t) = 2m\pi, m = \text{inteiro},$$

Dizemos que as ondas estão em fase.

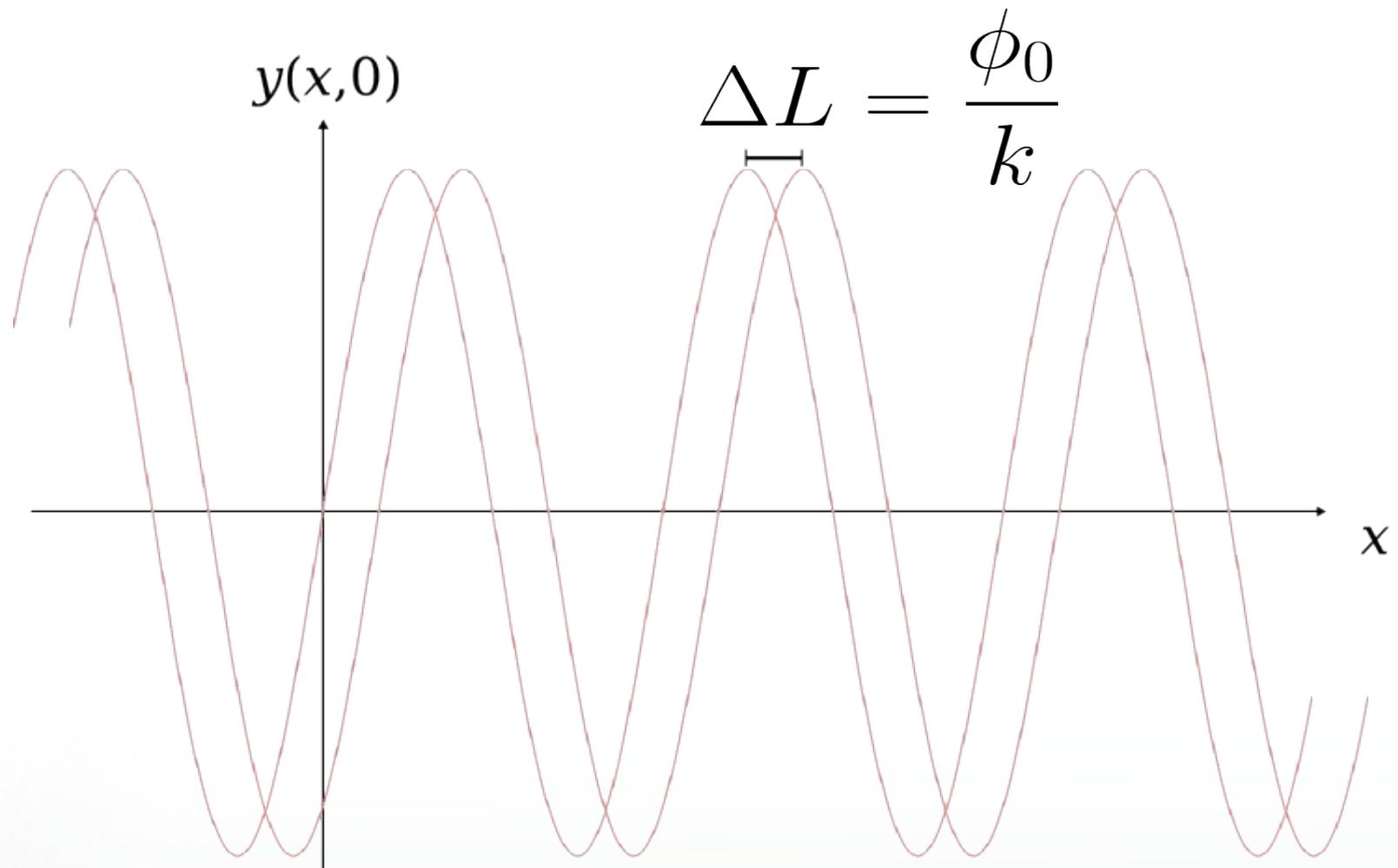
Ondas Senoidais

Distância entre duas ondas



Ondas Senoidais

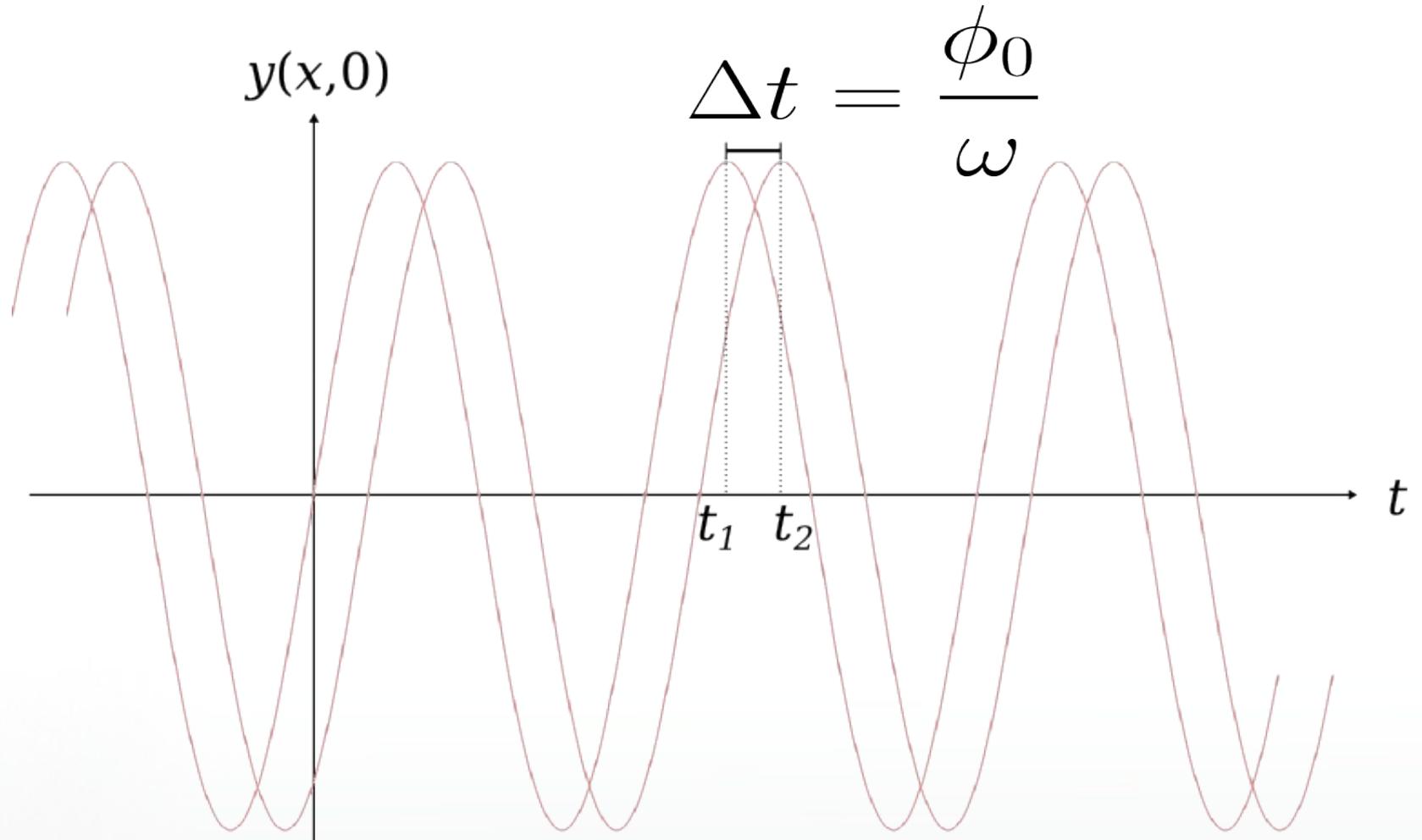
Distância entre duas ondas



$$y(x, 0) = A \text{sen} \left[k \left(x - \frac{\phi_0}{k} \right) - \omega t \right]$$

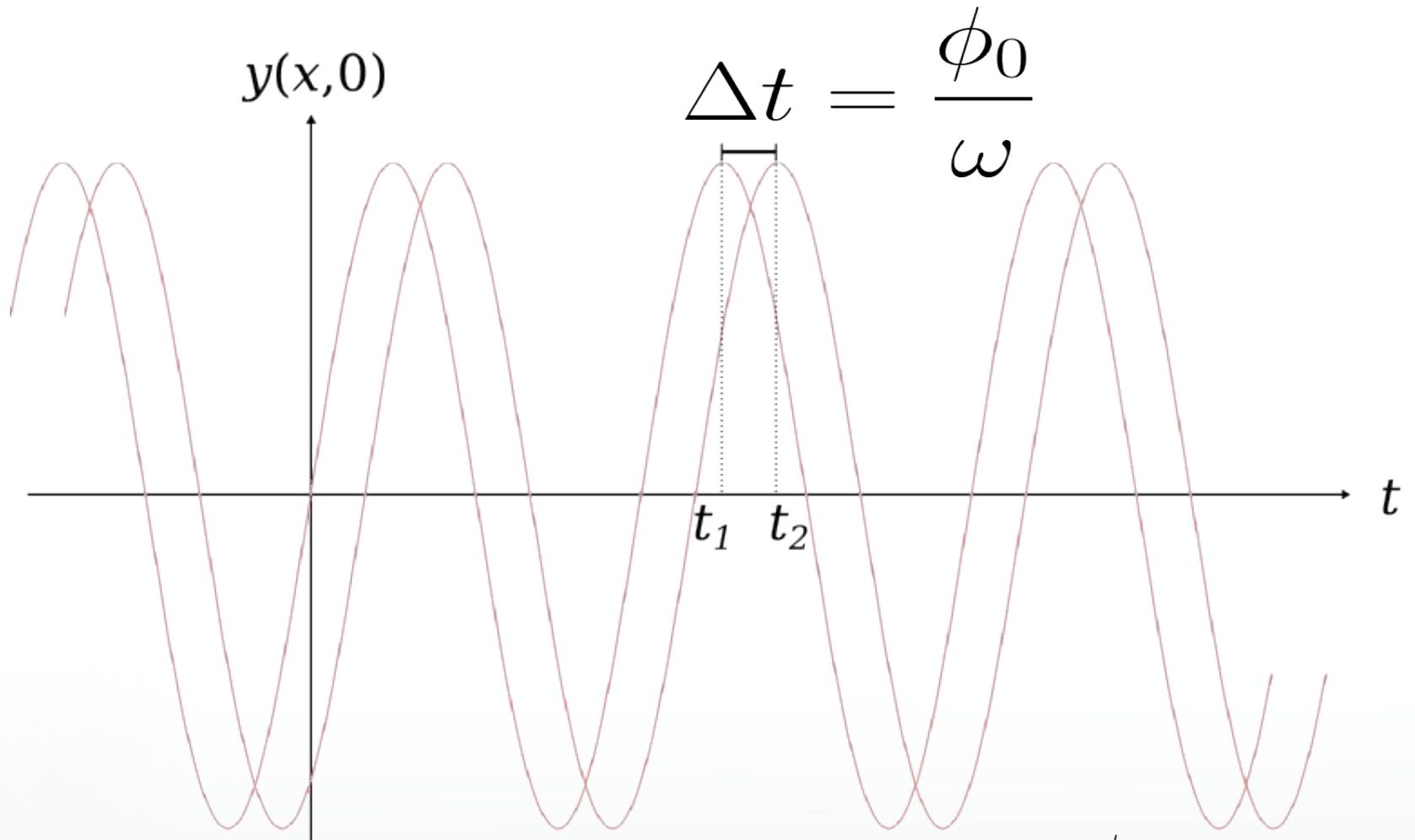
Ondas Senoidais

Intervalo de tempo para a onda ir de t_1 para t_2 .

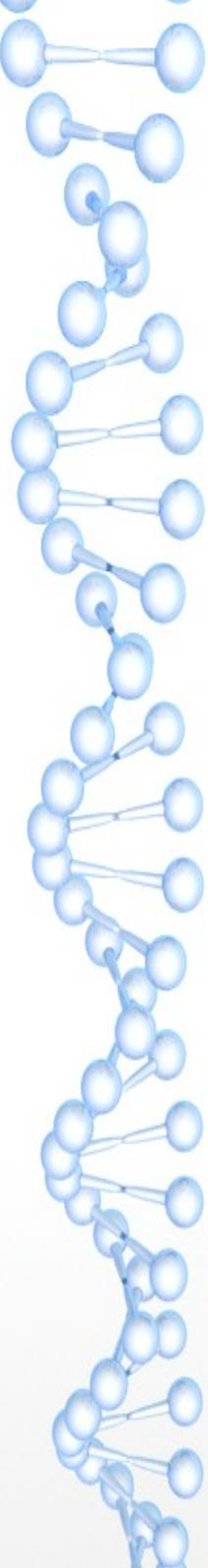


Ondas Senoidais

Intervalo de tempo para a onda ir de t_1 para t_2 .



$$y(x, 0) = A \text{sen} \left[kx - \omega \left(t - \frac{\phi_0}{\omega} \right) \right]$$



Ondas Senoidais

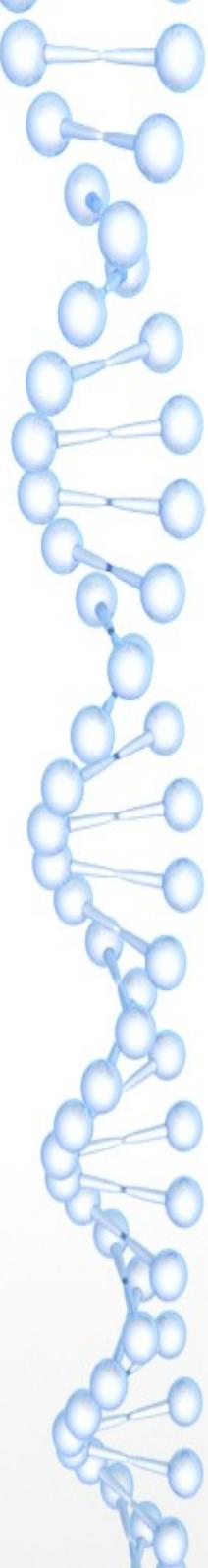
A equação

$$y(x, t) = A \text{sen}[kx - \omega t + \phi]$$

Fornece o deslocamento de cada ponto da onda.

$$\rightarrow v(x, t) = \dot{y}(x, t) = -\omega A \text{cos}[kx - \omega t + \phi]$$

$$\rightarrow a(x, t) = \ddot{y}(x, t) = \omega^2 A \text{sen}[kx - \omega t + \phi]$$



Ondas Senoidais

A equação

$$y(x, t) = A \text{sen}[kx - \omega t + \phi]$$

Fornece o deslocamento de cada ponto da onda.

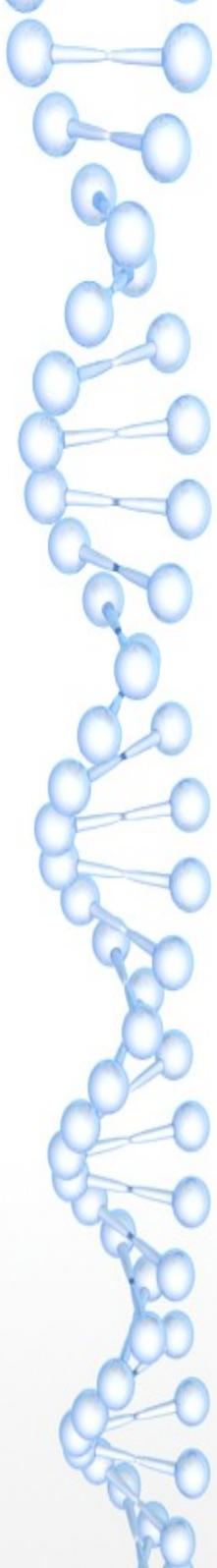
$$\rightarrow v(x, t) = \dot{y}(x, t) = -\omega A \text{cos}[kx - \omega t + \phi]$$

(velocidade de deslocamento cada ponto da onda)

$$\rightarrow a(x, t) = \ddot{y}(x, t) = \omega^2 A \text{sen}[kx - \omega t + \phi]$$

(aceleração de deslocamento cada ponto da onda)

Cada ponto descreve um MHS!



**Um caso particular:
Velocidade de propagação de
uma onda em uma corda...**

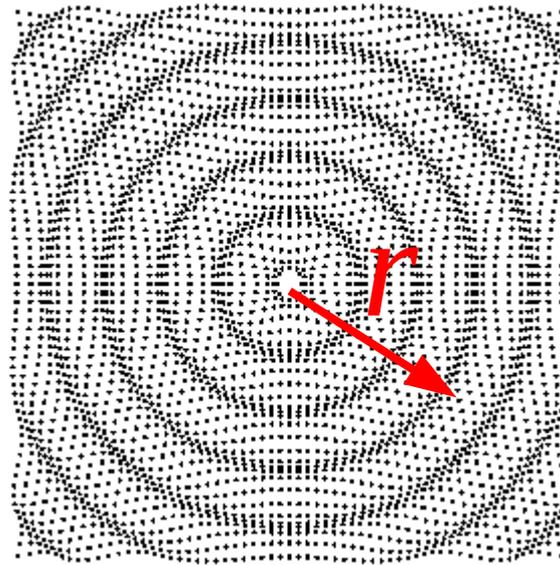
Ondas Senoidais

Ondas Bidimensionais - 2D



Ondas Senoidais

Ondas Bidimensionais - 2D

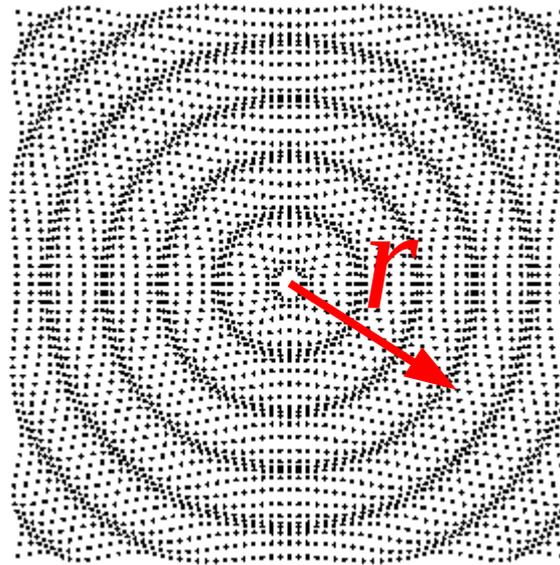


$$y(r, t) = A(r) \text{sen}[kr - \omega t + \phi]$$

$r \rightarrow$ distância em relação a fonte

Ondas Senoidais

Ondas Bidimensionais - 2D



$$y(r, t) = A(r) \text{sen}[kr - \omega t + \phi]$$

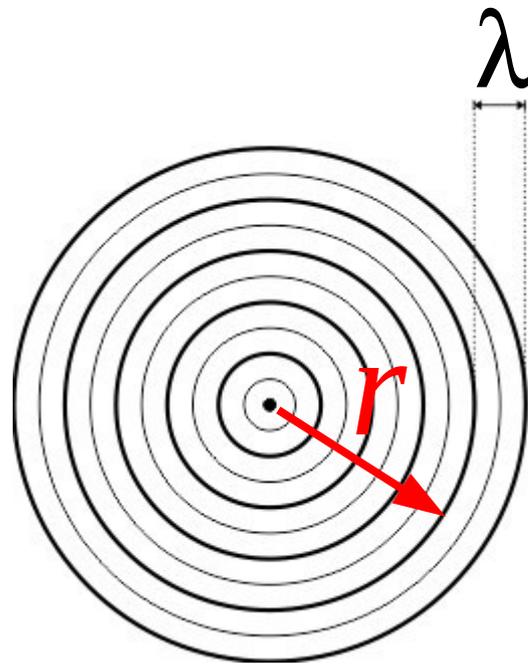
OBS: normalmente a Amplitude depende da distância a fonte!

$r \rightarrow$ distância em relação a fonte

Ondas Senoidais

Ondas Bidimensionais – 2D

Representação



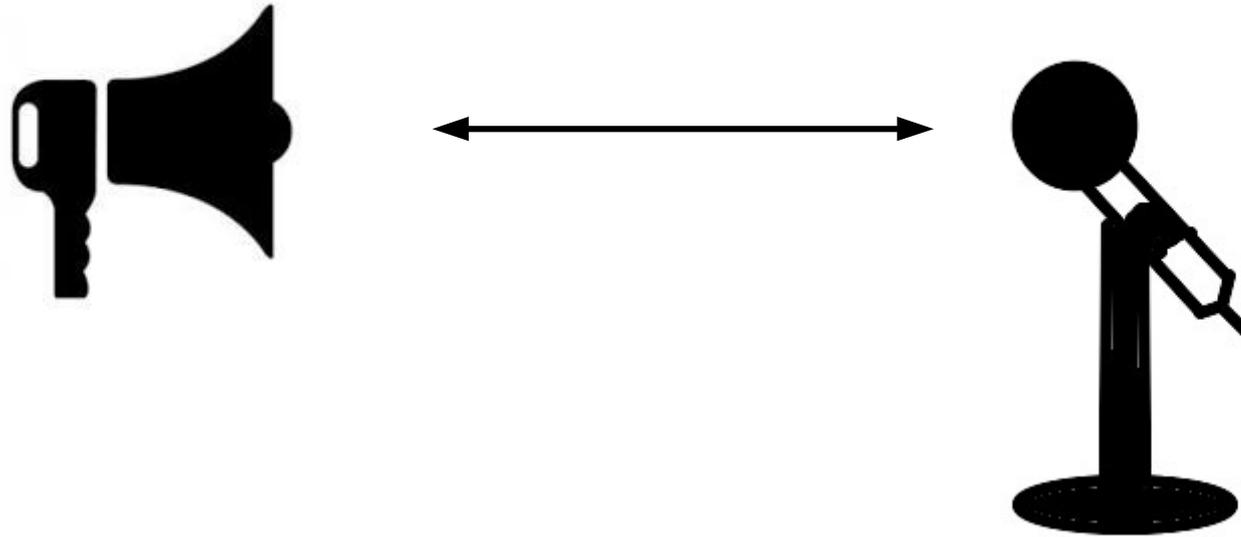
Frentes de onda são as cristas da onda.
Elas são separadas por um λ .

$$y(\mathbf{r}, t) = A(\mathbf{r}) \text{sen}[k\mathbf{r} - \omega t + \phi]$$

Ondas Senoidais

Uma onda transporta energia...

Experiência cotidiana



Qto maior a distância entre o auto-falante e o microfone, menor a intensidade do som captado.

Ondas Senoidais

Uma onda transporta energia...

Potência \rightarrow taxa, em joule/s, pela qual a onda transfere energia.



A potência é uma grandeza que só depende da fonte.

Ondas Senoidais

Uma onda transporta energia...

Intensidade = Potência / Área



A intensidade diminui com o aumento da distância entre a fonte e o ponto de observação.

Ondas Senoidais

Uma onda transporta energia...

Intensidade = Potência / Área



A intensidade diminui com o aumento da distância entre a fonte e o ponto de observação.

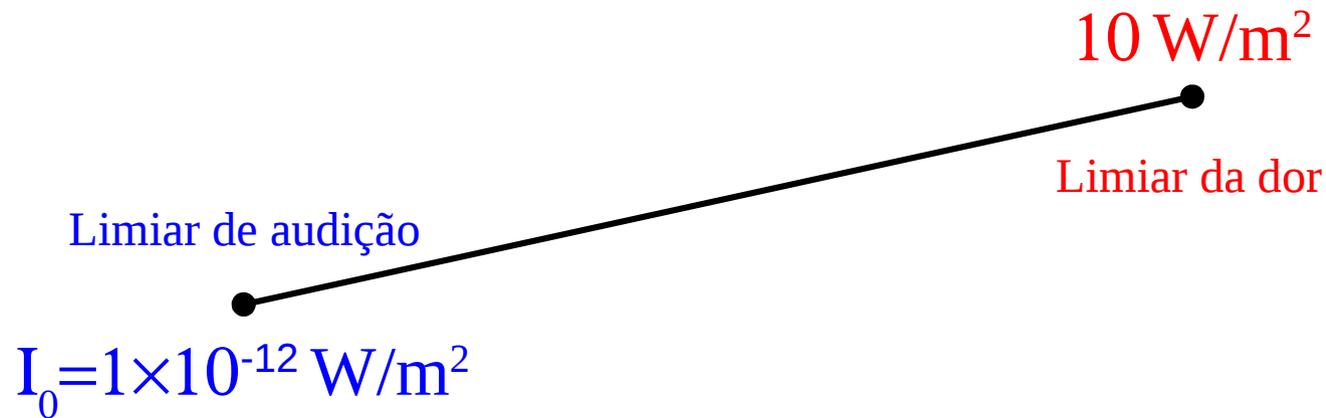


$$I = c |A|^2$$

Ondas Senoidais

Uma onda transporta energia...

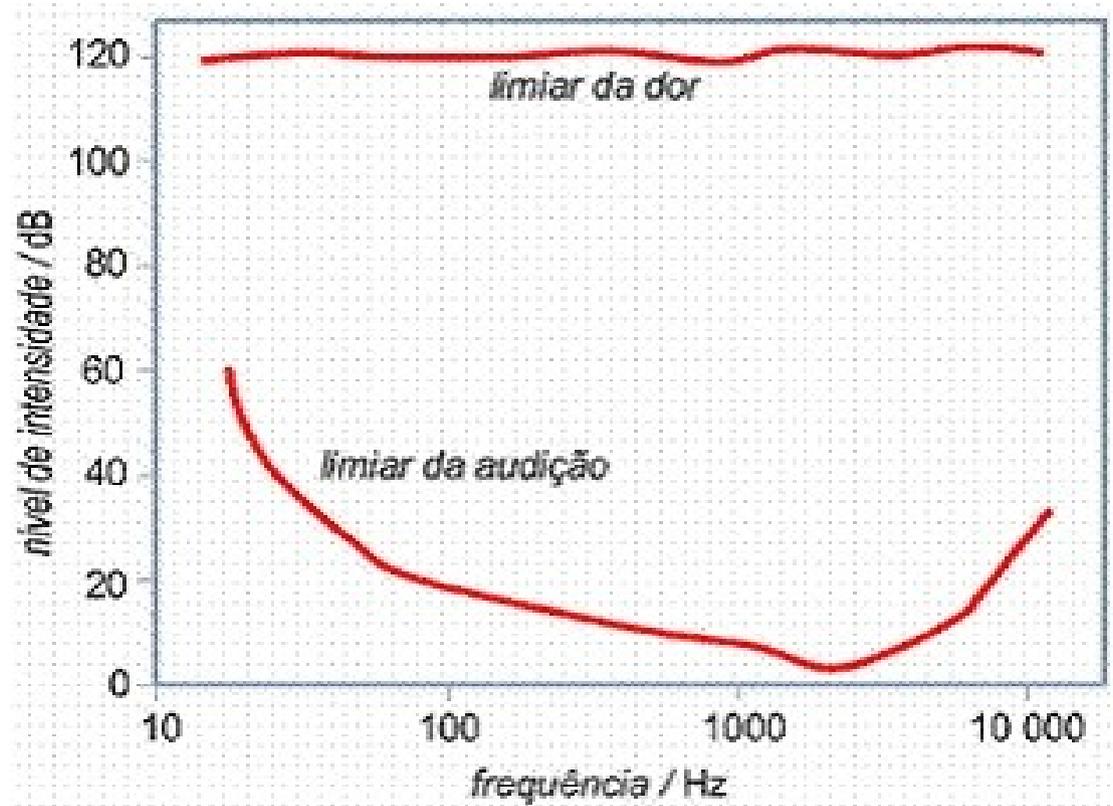
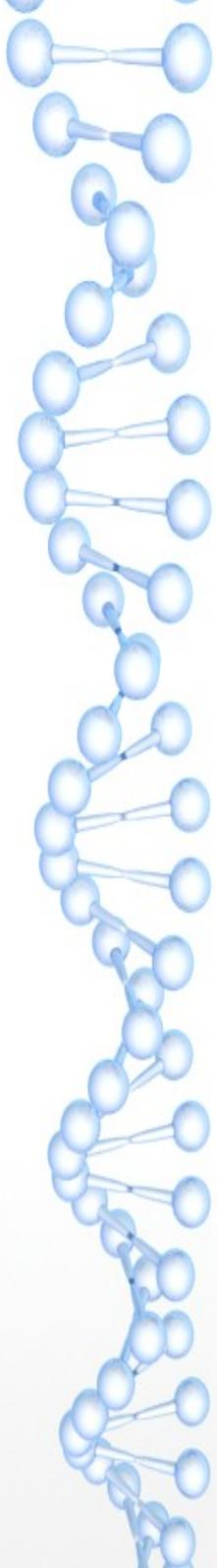
Escala de Volume



Escala Decibel $\rightarrow \beta \equiv [10 \text{ dB}] \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$

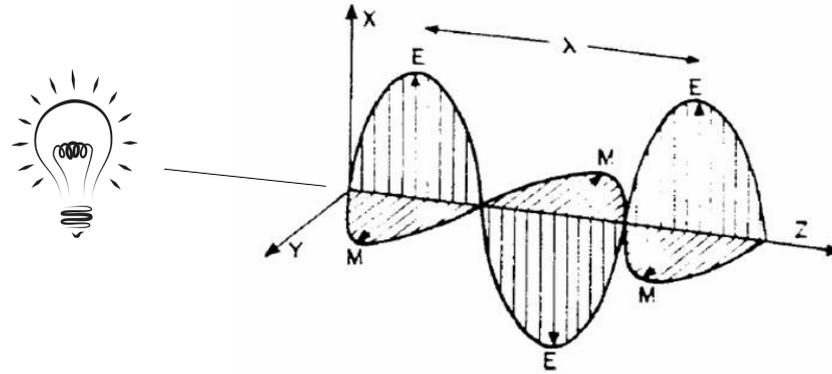
0 dB \rightarrow limite da audição humana

130 dB \rightarrow limite da dor



Ondas Senoidais

Luz



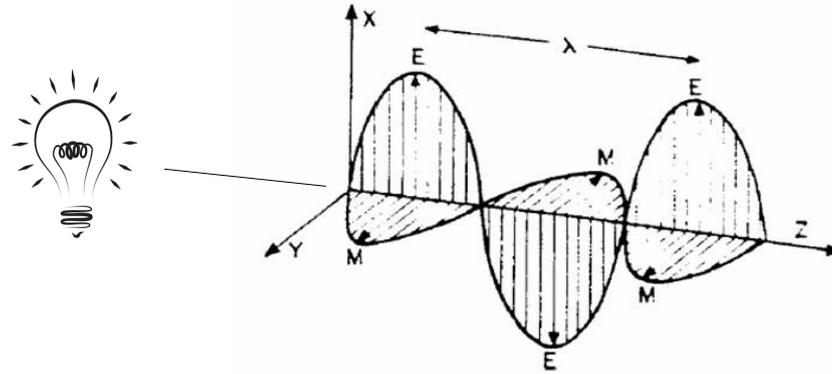
A velocidade da luz em um meio material é caracterizada pelo índice de refração

$$n = \frac{v_{\text{luz}}^{\text{v\u00e1cuo}}}{v_{\text{luz}}^{\text{material}}} = \frac{c}{v}$$

$$n > 1 !$$

Ondas Senoidais

Luz



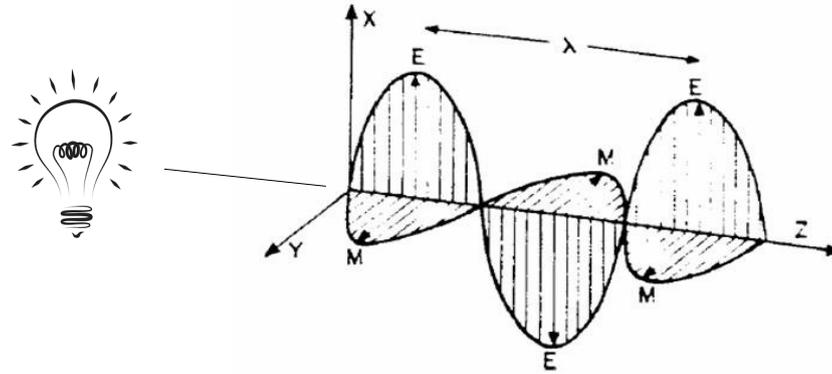
A velocidade da luz em um meio material é caracterizada pelo índice de refração

$$n = \frac{v_{\text{luz}}^{\text{v\u00e1cuo}}}{v_{\text{luz}}^{\text{material}}} = \frac{c}{v}$$

$n=1$ (v\u00e1cuo) - $n=1,0003$ (ar) - $n=1,33$ (\u00e1gua)
 $n=1,50$ (vidro) - $n=2,42$ (diamante)

Ondas Senoidais

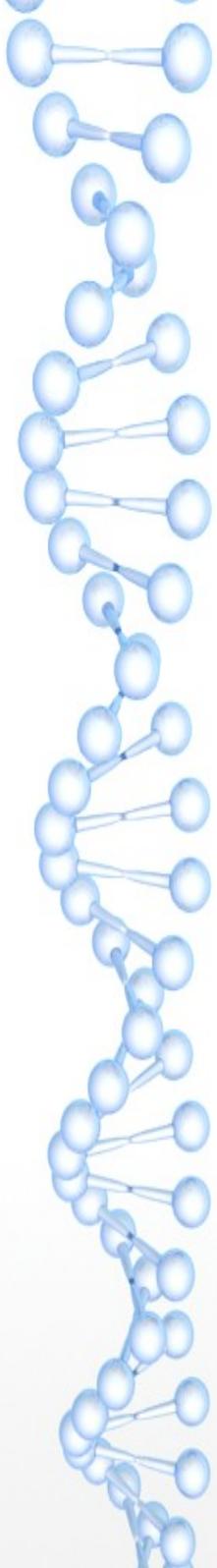
Luz



A velocidade da luz em um meio material é caracterizada pelo índice de refração

$$n = \frac{v_{\text{luz}}^{\text{v\u00e1cuo}}}{v_{\text{luz}}^{\text{material}}} = \frac{c}{v}$$

$n=1$ (v\u00e1cuo) - $n=1,0003$ (ar) - $n=1,33$ (\u00e1gua)
 $n=1,50$ (vidro) - $n=2,42$ (diamante)



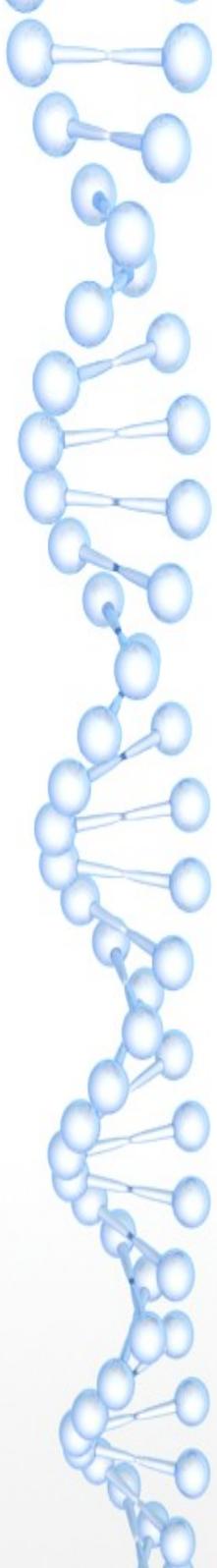
Ondas Senoidais

Luz



Se a velocidade da onda varia, o que ocorre com a frequência e o comprimento de onda?

Ambos variam?



Ondas Senoidais

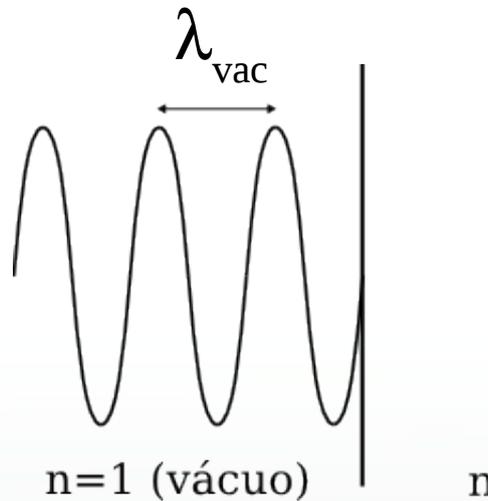


Luz

Se a velocidade da onda varia, o que ocorre com a frequência e o comprimento de onda?

Ambos variam?

$$(v = \lambda f)$$



???

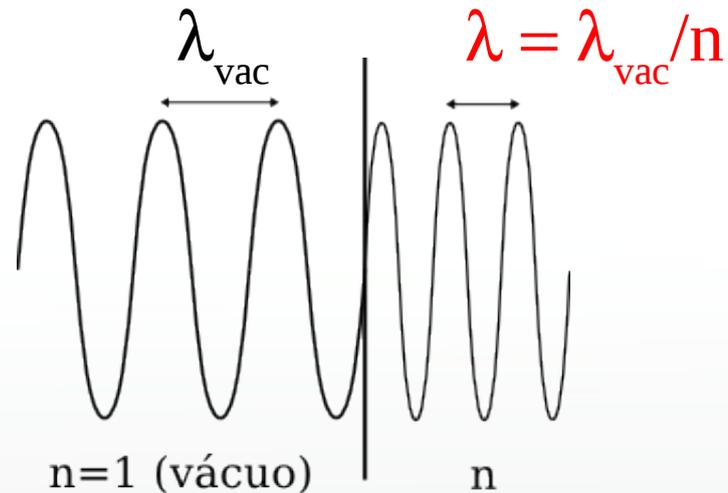
Ondas Senoidais

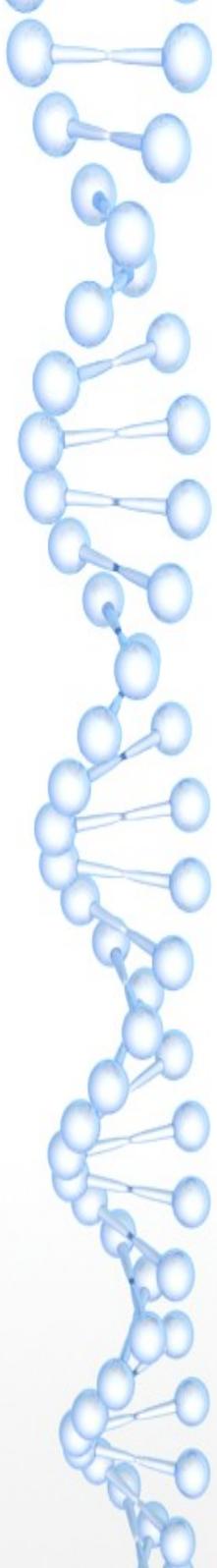


Luz

Se a velocidade da onda varia, o que ocorre com a frequência e o comprimento de onda?

$$(v = \lambda f)$$





Ondas Senoidais

Luz



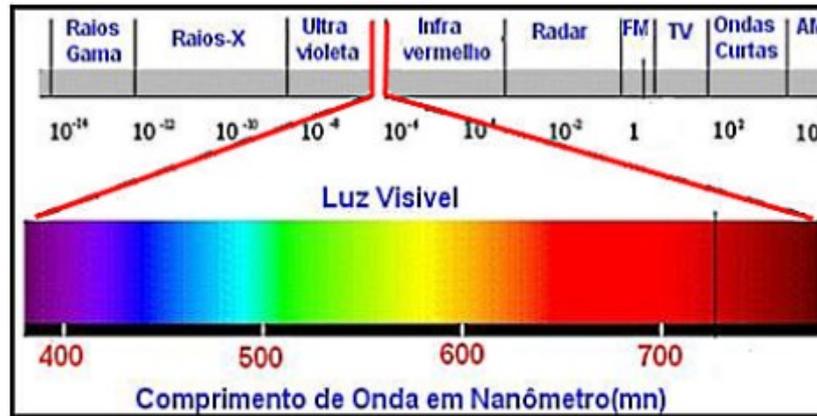
Se a velocidade da onda varia, o que ocorre com a frequência e o comprimento de onda?

Ambos variam?

A frequência da onda é a frequência da fonte. Ela não varia quando a onda passa de um meio para outro.

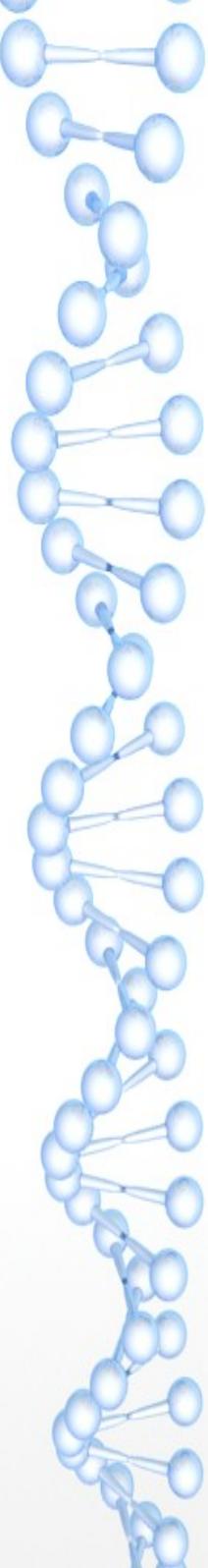
Ondas Senoidais

Luz – Espectro Visível



Violeta(400nm)

Vermelho(700nm)



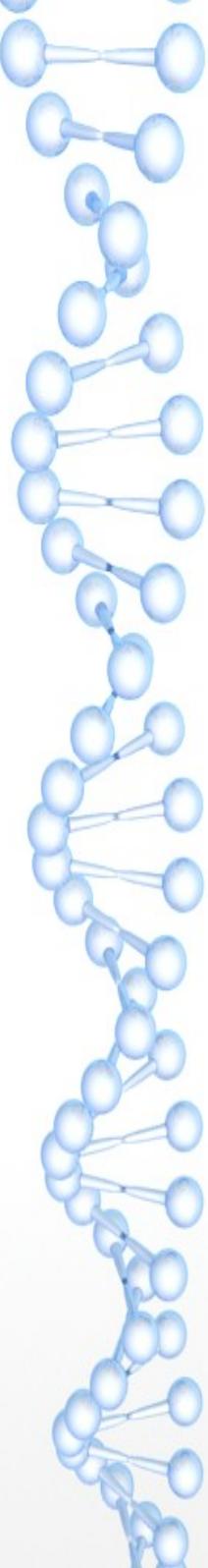
Ondas Senoidais

Teste Conceitual

1. A intensidade de uma onda sonora A é 100 vezes a de outra onda sonora B. Com relação ao som da onda B, o som da onda A é

- A) 2dB maior
- B) 10dB maior
- C) 20dB maior
- D) 100dB maior

$$\beta \equiv [10dB] \cdot \log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right)$$



Ondas Senoidais

Teste Conceitual

3. Ondas senoidais viajam em quatro cordas idênticas. Três das cordas estão sob a mesma tensão, mas a quarta tem uma tensão diferente. Use as formas matemáticas das ondas abaixo para identificar a corda com tensão diferente. Nas expressões indicadas em seguida x e y estão em centímetros e t em segundos.

A) $y(x,t) = (2 \text{ cm}) \sin (2x - 4t)$

B) $y(x,t) = (2 \text{ cm}) \sin (4x - 10t)$

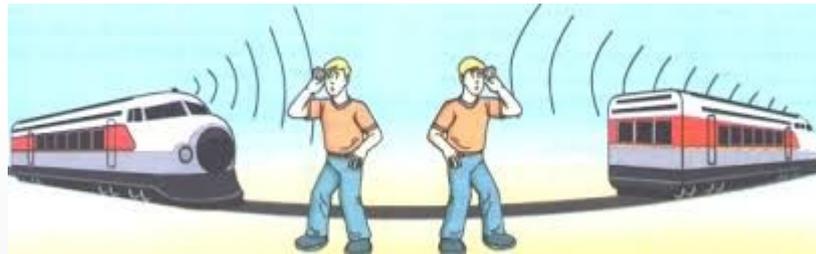
C) $y(x,t) = (2 \text{ cm}) \sin (6x - 12t)$

D) $y(x,t) = (2 \text{ cm}) \sin (8x - 16t)$

Efeito Doppler

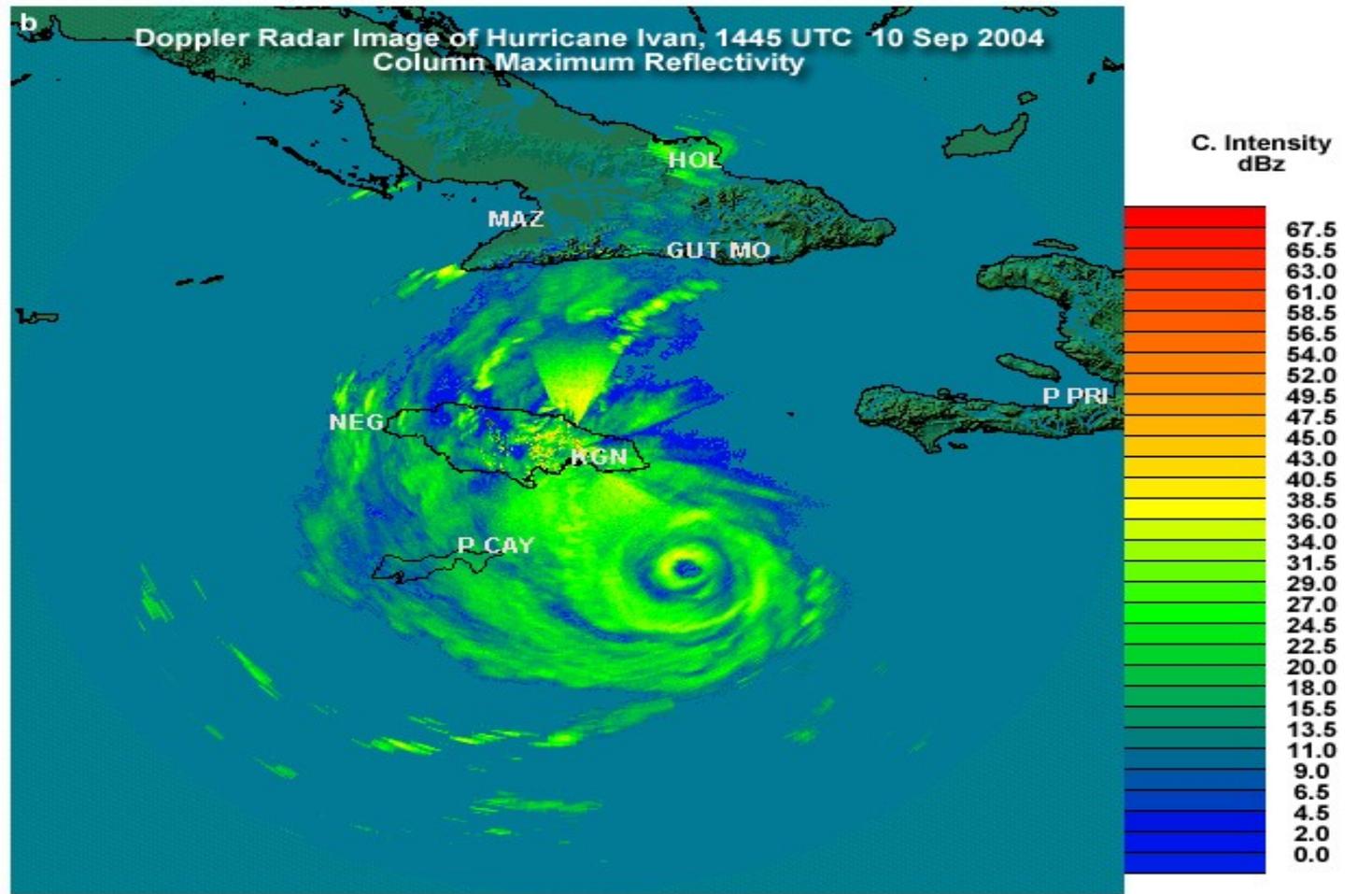
Efeito Doppler é um fenômeno físico observado nas ondas quando emitidas ou refletidas por um objeto que está em movimento com relação ao observador. Foi-lhe atribuído este nome em homenagem a Johann Christian Andreas Doppler, que o descreveu teoricamente pela primeira vez em 1842.

➔ A frequência detectada difere da frequência emitida quando há um movimento relativo entre a fonte e o observador.



Efeito Doppler

➔ Detecção da velocidade dos ventos e objetos (radar)



Efeito Doppler

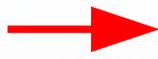
Conforme demonstrado em aula, para movimento relativo entre observador e fonte com velocidade constante...

$$f' = \left(\frac{v^{onda} \mp v^{obs}}{v^{onda} \pm v^{fonte}} \right) f_0$$

Efeito Doppler

Conforme demonstrado em aula, para movimento relativo entre observador e fonte com velocidade constante...

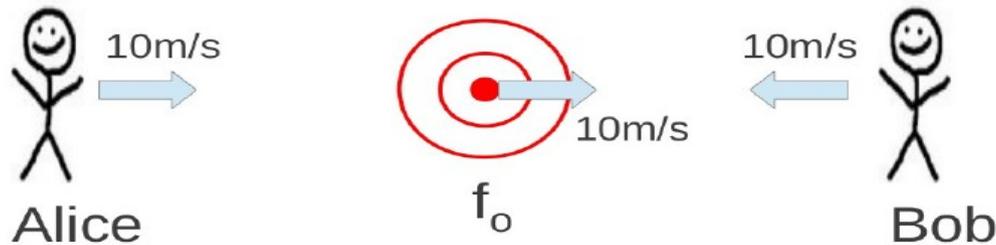
$$f' = \left(\frac{v_{onda} \overset{\text{blue arrow}}{\oplus} v^{obs}}{v_{onda} \underset{\text{blue arrow}}{\ominus} v^{fonte}} \right) f_0$$

 aproximação

 afastamento

Teste Conceitual 4

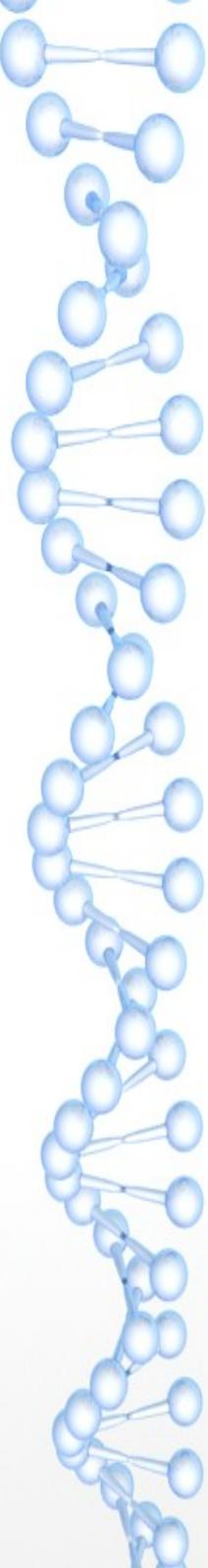
Alice e Bob estão ouvindo uma fonte sonora que se move para a direita. Compare as frequências que cada um ouve.



- A) $f_{\text{Alice}} = f_0 > f_{\text{Bob}}$
- B) $f_{\text{Alice}} = f_0 = f_{\text{Bob}}$
- C) $f_{\text{Alice}} = f_0 < f_{\text{Bob}}$
- D) $f_{\text{Alice}} < f_0 = f_{\text{Bob}}$

→ aproximação

$$f' = \left(\frac{v_{\text{onda}} \oplus v^{\text{obs}}}{v_{\text{onda}} \oplus v^{\text{fonte}}} \right) f_0$$



Problema:

Você está dirigindo um automóvel numa rodovia a $35,0\text{m/s}$ quando ouve o som da sirene, com frequência de 1248Hz , de um carro de polícia que se aproxima de você pela traseira. Você fica tranquilizado quando a viatura policial te ultrapassa perseguindo um outro automóvel. Após a ultrapassagem, você ouve o som da sirene com frequência de 1148Hz . Qual a velocidade do carro da polícia? A velocidade do som no ar vale 343 m/s .