

# **Física IV**

**1º Semestre de 2016**

**Prof. Dr. Lucas Barboza Sarno da Silva**

# *Cronograma do curso*

- 18/02 – (quinta-feira) – AULA 1 – Movimento Ondulatório  
25/02 – (quinta-feira) – AULA 2 – Movimento Ondulatório  
03/03 – (quinta-feira) – AULA 3 – Interferência e Difração  
10/03 – (quinta-feira) – AULA 4 – Interferência e Difração  
17/03 – (quinta-feira) – AULA 5 – Redes, Espectros e Polarização  
24/03 – (quinta-feira) – Não haverá aula (Semana da Santa)  
31/03 – (quinta-feira) – AULA 6 – Redes, Espectros e Polarização  
07/04 – (quinta-feira) – **P1 – Primeira Avaliação**  
14/04 – (quinta-feira) – AULA 7 – Teria da Relatividade  
21/04 – (quinta-feira) – Não haverá aula (Tiradentes)  
28/04 – (quinta-feira) – AULA 8 – Teria da Relatividade  
05/05 – (quinta-feira) – AULA 9 – Introdução à Mecânica Quântica  
12/05 – (quinta-feira) – AULA 10 – Introdução à Mecânica Quântica  
19/05 – (quinta-feira) – Não haverá aula (Semana Acadêmica)  
26/05 – (quinta-feira) – Não haverá aula (Corpus Christi)  
02/06 – (quinta-feira) – AULA 11 – Introdução à Mecânica Quântica  
09/06 – (quinta-feira) – AULA 12 – Introdução à Mecânica Quântica  
16/06 – (quinta-feira) – AULA 13 – Introdução à Mecânica Quântica  
23/06 – (quinta-feira) – **P2 – Segunda Avaliação**  
30/06 – (quinta-feira) – Vista de Prova  
07/07 – (quinta-feira) – Não haverá aula  
14/07 – (quinta-feira) – RECUPERAÇÃO

## *Método de avaliação*

$$\text{Nota Final} = \frac{[(P_1 \cdot 0,8) + (\text{Trab} \cdot 0,2)] + 2[(P_2 \cdot 0,8) + (\text{Trab} \cdot 0,2)]}{3}$$

# *Horário de atendimento aos alunos*

Segunda-feira → 09:00 – 12:00

# *Disponibilização de todo o material didático*

Todo o material didático será disponibilizado no STOA.

- Slides utilizados nas aulas
- Listas de exercícios
- Avaliação e frequência dos alunos
- Cronograma das aulas

<http://disciplinas.stoa.usp.br/>

- lucasarno@usp.br
- lucas.sarno@gmail.com

*Física IV*

# Movimento Ondulatório

**Prof. Dr. Lucas Barboza Sarno da Silva**

# *Movimento Oscilatório no cotidiano*



Ondas no mar



Fontes de energia renovável

# *Movimento Oscilatório no mundo moderno*



Indústria da Música



Gravadora



Concerto ao vivo



# *Movimento Oscilatório*

Tipos de ondas:

- **ONDAS MECÂNICAS**, como ondas do mar, ondas numa corda, ondas sonoras, ondas sísmicas, ondas de choque...  
*Características: são governadas pelas leis de Newton e existem apenas em meios materiais.*
- **ONDAS ELETROMAGNÉTICAS**, como a luz visível, ondas de rádio, os sinais de televisão, os raios X...  
*Característica: não necessita de um meio material para existir.*
- **ONDAS DE MATÉRIA**, são associadas a elétrons, prótons e outras partículas elementares.

# *Ondas Mecânicas*

O conceito de onda é meio abstrato.

- Ondas em água, o que vemos é uma deformação da superfície da água. Sem a água não haveria a onda.
- Uma numa corda.
- As ondas sonoras (variações de pressão de ponto para ponto).

*Então, o que interpretamos como onda corresponde a uma perturbação de um corpo, ou meio, de propagação. Portanto, podemos considerar uma onda como o movimento de uma perturbação.*

# *Movimento Oscilatório*

## Exemplos:

- A onda se desloca de um ponto para outro, mas a água não é arrastada pela onda.



- O vento ao passar em campo de trigo.

As partículas que constituem o meio efetuam apenas pequenas vibrações, mas o movimento global é o de uma onda que avança.



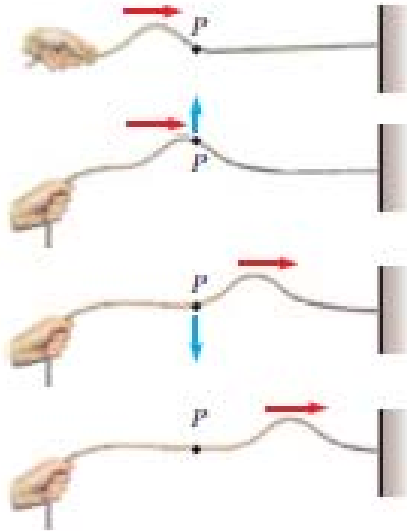
# *Ondas Mecânicas*

- Fonte de alimentação
- Meio que possa ser perturbado
- Alguma conexão física, ou mecanismo físico, mediante o qual partes vizinhas do meio possam se influenciar mutuamente

*Todas as ondas transportam energia.*

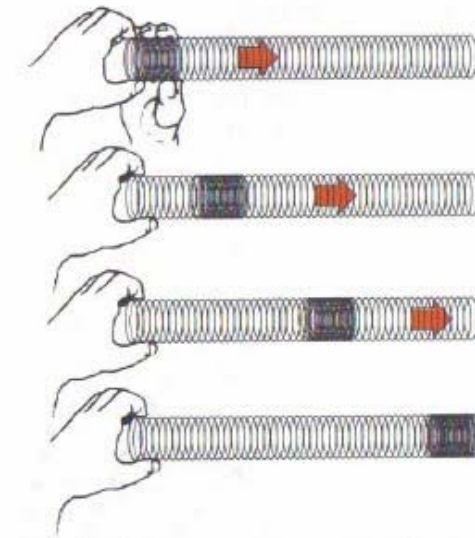
# *Tipos de onda:*

**Ondas progressiva**, é uma onda que se propaga com uma velocidade definida.



*Onda transversal*

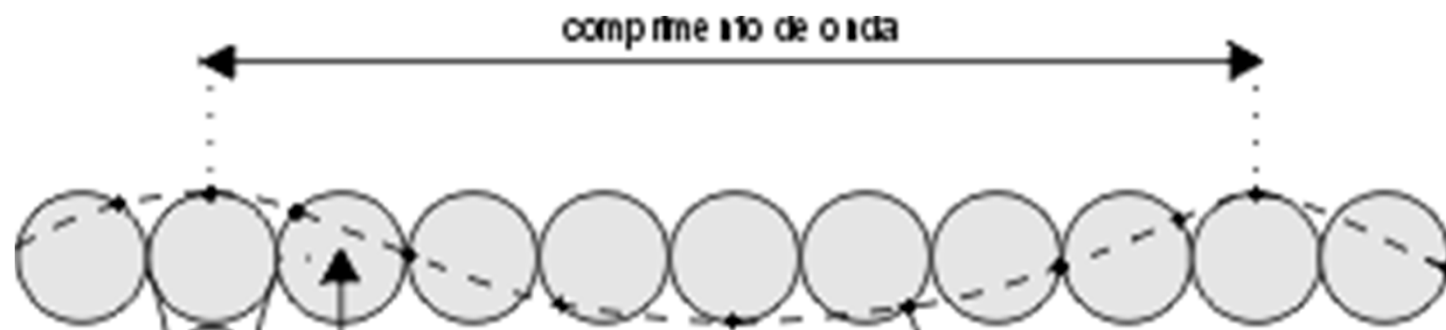
*As partículas do meio se deslocam perpendicularmente à direção da velocidade da onda.*



*Onda longitudinal*

*As partículas do meio se deslocam paralelamente à direção do movimento da onda.*

Ondas num lago?



Transversal e longitudinal

*Quando a onda passa, as moléculas da água, nas cristas, deslocam-se na direção da onda, e as moléculas no fundo da onda se movem na direção oposta, traçando trajetórias quase circulares.*

# Descrição quantitativa de ondas progressivas unidimensionais

$y = f(x - vt)$   $\longrightarrow$  Deslocamento para direita

$y = f(x + vt)$   $\longrightarrow$  Deslocamento para esquerda

- O deslocamento  $y(x,t)$  é chamado de **função de onda**, e representa a coordenada  $y$  de qualquer ponto P, em qualquer instante  $t$ .
- Se  $t$  for fixo, então a função de onda  $y$  define a curva que representa a forma real do pulso nesse instante.

## *Exemplo:*

Um pulso ondulatório progressivo desloca-se para a direita, sobre o eixo dos  $x$ , e é representado pela função de onda:

$$y(x, t) = \frac{2}{(x - 3t)^2 + 1}$$

onde  $x$  e  $y$  estão medidos em cm e  $t$  em s. Plote a função de onda em  $t = 0$  s,  $t = 1$  s e  $t = 2$  s.



# *Interferência de ondas*



Ondas num lago



Conversa entre duas pessoas

# Interferência de ondas

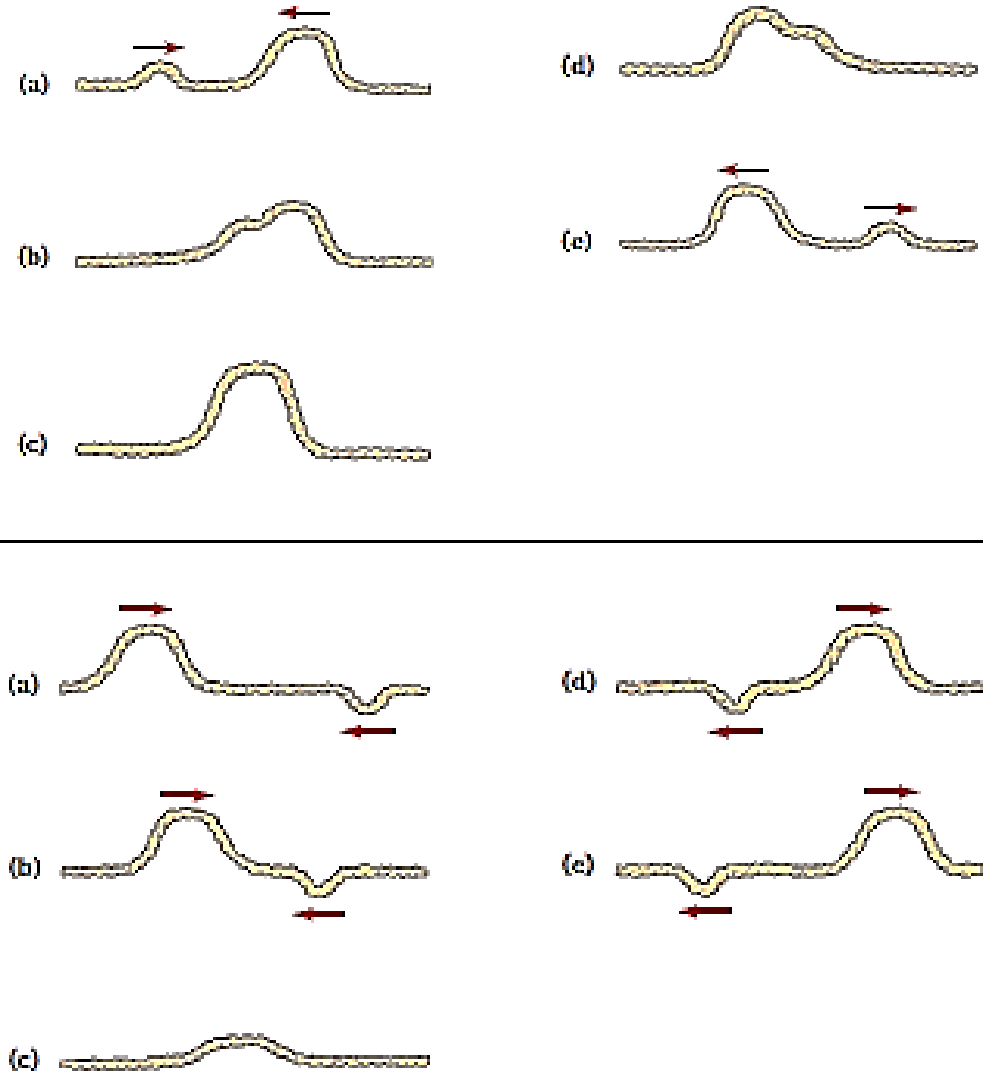
Princípio da Superposição:

Onda 1:  $y_1 = f_1(x - vt)$

Onda 2:  $y_2 = f_2(x + vt)$

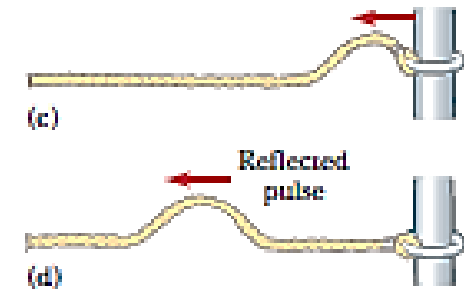
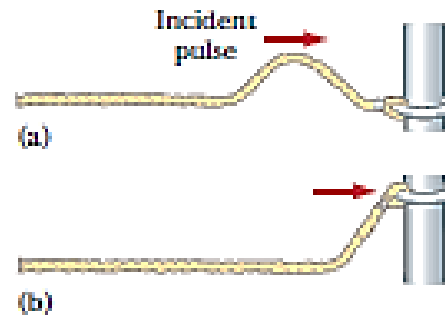
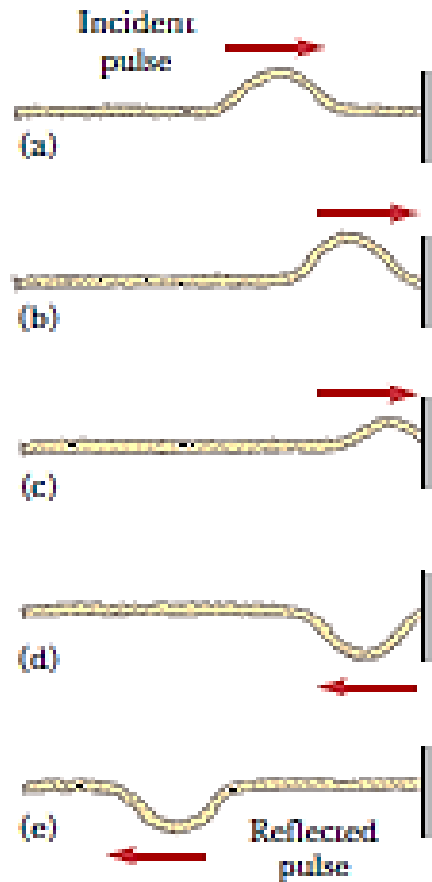
$$y'(x, t) = y_1 + y_2$$

$$y'(x, t) = f_1(x - vt) + f_2(x + vt)$$



# Reflexão de onda

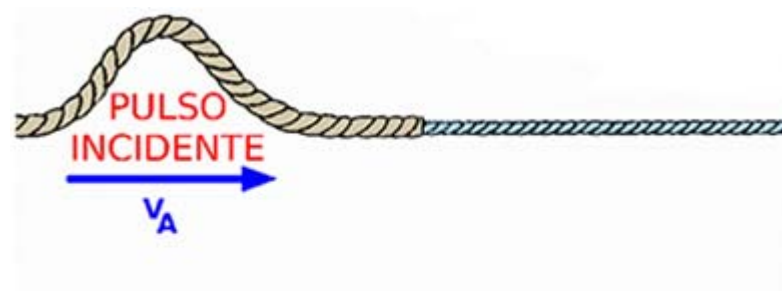
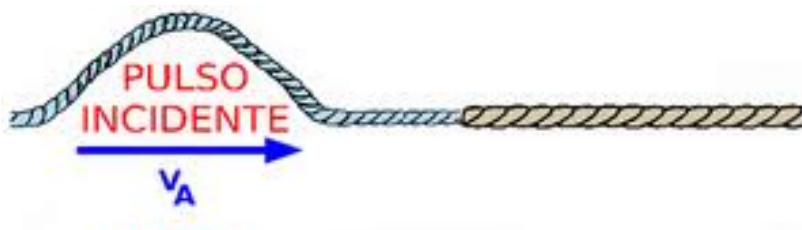
## Reflexão de um pulso ondulatório



O pulso refletido não está invertido

O pulso refletido está invertido

# *Reflexão de onda*



# *Ondas Harmônicas*

- Fonte de alimentação
- Meio que possa ser perturbado
- Alguma conexão física, ou mecanismo físico, mediante o qual partes vizinhas do meio possam se influenciar mutuamente

Todas as ondas transportam energia

Características de uma onda:

- **Comprimento de onda**
- **Frequência**
- **Velocidade da onda**

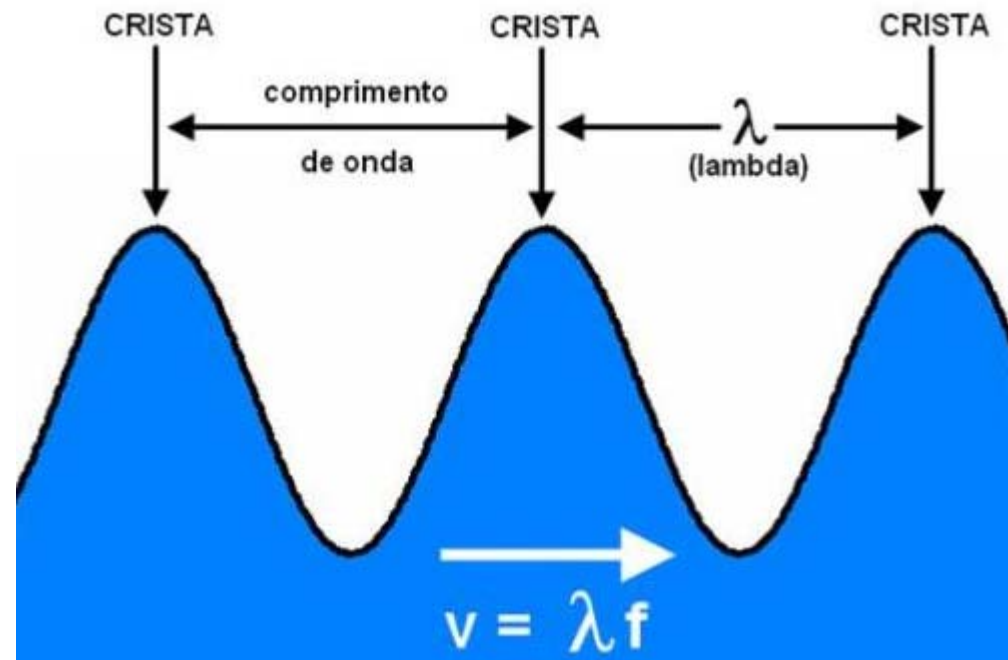
**Comprimento de onda:** a distância mínima entre dois pontos quaisquer de uma onda que se comportam identicamente.

**Frequência:** é a taxa temporal em que a perturbação se repete.

As ondas se deslocam, ou se propagam, com certa **velocidade**, que depende do meio que está sendo perturbado.

**Velocidade de som no ar a 20°C:** 344 m/s

**Velocidade de uma onda eletromagnética, no vácuo:**  $3 \times 10^8$  m/s



# *Ondas Harmônicas*

- Uma onda harmônica tem a forma senoidal

Em  $t = 0$  o deslocamento da curva pode ser escrito como:

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

$A$  = amplitude da onda

$\lambda$  = comprimento de onda

# *Ondas Harmônicas*

Função de onda de uma onda harmônica:  $y = A \text{sen}(kx - \omega t - \phi)$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \longrightarrow \text{número de onda}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \longrightarrow \text{frequência angular}$$

$$f = \frac{1}{T} \longrightarrow \text{frequência}$$

$$v = \frac{\omega}{k} = \lambda f \longrightarrow \text{velocidade de fase}$$

$$\phi \longrightarrow \text{constante de fase}$$

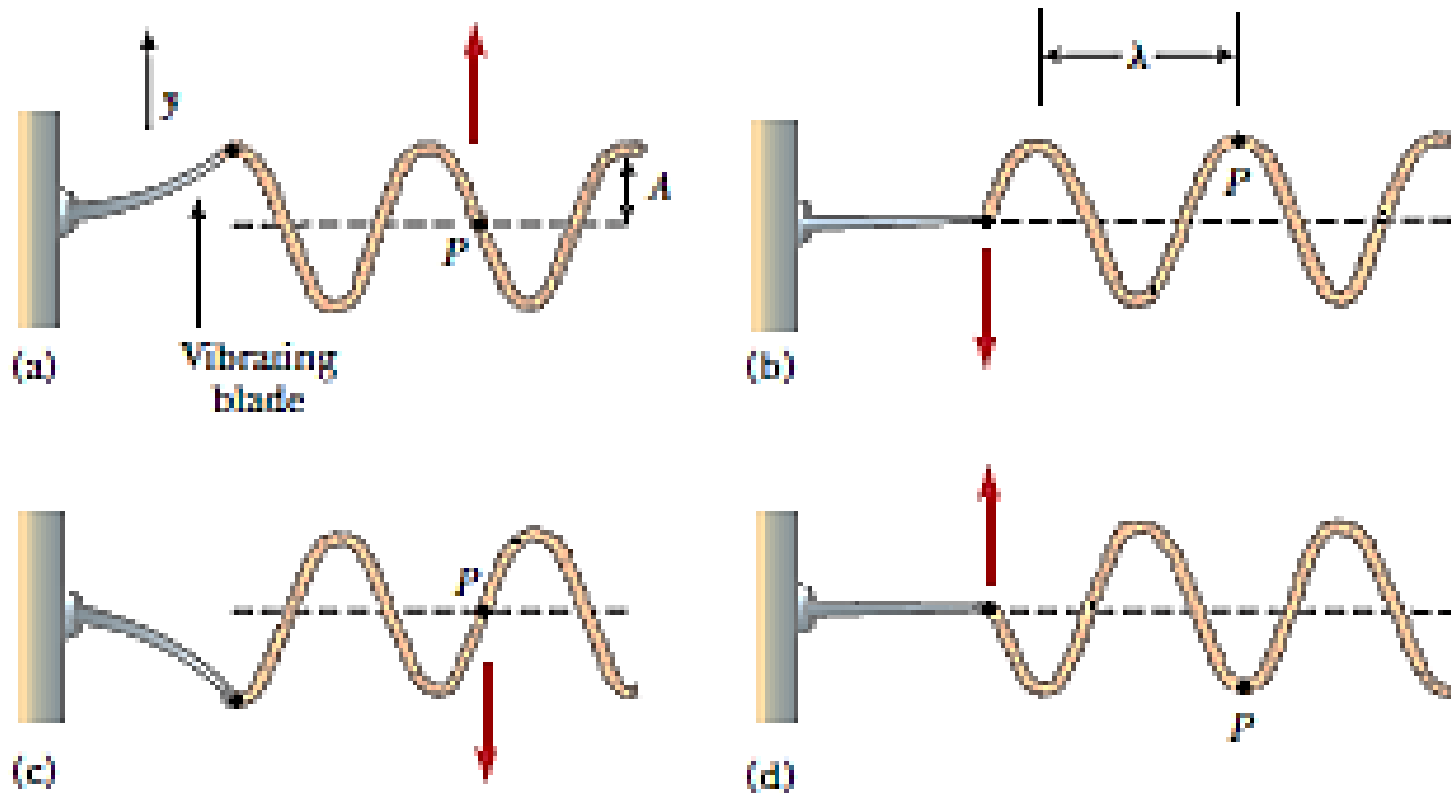


## *Exemplo:*

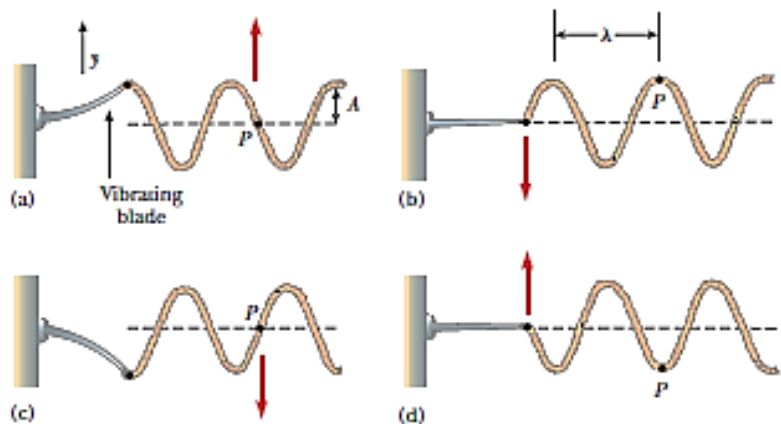
Uma onda senoidal progressiva propaga-se na direção dos  $x$  positivos, tem amplitude de 15 cm, comprimento de onda de 40 cm e frequência de 8 Hz. O deslocamento da onda em  $t = 0$  s e em  $x = 0$  cm também é de 15 cm.

- (a) Achar o número de onda, o período, a frequência angular e a velocidade de fase da onda.
- (b) Determinar a constante de fase  $\phi$  e escrever a expressão geral da função de onda.

# *Ondas harmônicas numa corda*



# Ondas harmônicas numa corda



Função de onda:

$$y = A \sin(kx - \omega t)$$

**Velocidade transversal:**

$$v_y = -\omega A \cos(kx - \omega t)$$

$$(v_y)_{\text{máx}} = \omega A \quad \text{em } y = 0$$

**Aceleração transversal:**

$$a_y = -\omega^2 A \sin(kx - \omega t)$$

$$(a_y)_{\text{máx}} = \omega^2 A \quad \text{em } y = A$$

## *Exemplo:*

A corda está sendo excitada por uma lâmina vibrante, numa das extremidades, por uma frequência de 5 Hz. A amplitude do movimento é de 12 cm e a velocidade da onda de 20 m/s.

- (a) Determinar a frequência angular, o número de onda dessa onda e escrever a expressão da função de onda.
- (b) Calcular os valores máximos da velocidade transversal e da aceleração transversal de qualquer ponto da corda.

*“O ímpeto é muito mais rápido que a água, pois muitas vezes a onda abandona o lugar da sua criação enquanto a água não, como as ondas do vento num campo de trigo, que vemos correr através do campo, enquanto o trigo permanece no seu lugar”*

Leonardo da Vinci