

Propriedades das ondas

▪ **Prof. Theo Z. Pavan**

Física Acústica

Resumo – Movimento Harmônico Simples (MHS)

- A solução mais geral é $x = A \cos(\omega t + \phi)$

onde $A =$ amplitude

$\omega =$ frequência angular

$\phi =$ fase

Movimento Ondulatório

Ondas

ondas na água

ondas em cordas

“ola” em estádios

Som

luz

Meio

água

corda

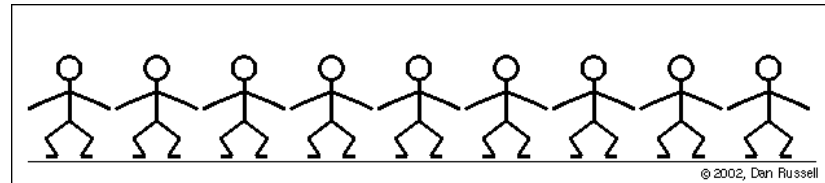
pessoas

ar

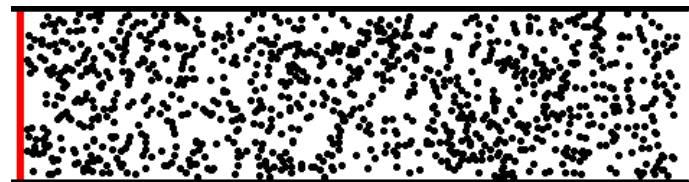
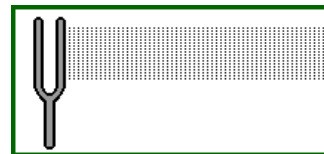
vácuo



©2002, Dan Russell



© 2002, Dan Russell



©2002, Dan Russell

Propriedades das Ondas

Ondas são oscilações que transportam energia.

A amplitude é uma medida da intensidade.

SOM: amplitude implica em intensidade

LUZ: amplitude implica em brilho

Velocidade da onda depende do comprimento de onda e da frequência da oscilação:

$$v = \lambda f$$

Amplitude and Energy



Small amplitude
corresponds to
low energy wave

Large amplitude
corresponds to
high energy wave

Qual comprimento de onda da onda sonora enquanto falamos?

Velocidade da Onda

A onda se desloca um comprimento de onda λ em um período T .
Portanto, sua velocidade é:

$$v = \lambda / T = \lambda f$$

Que animal consegue ouvir um comprimento de onda mais curto?
Gatos (70.000 Hertz) ou Morcegos (120.000 Hertz)

$$\lambda = v/f$$

(frequência maior → comprimento de onda menor)

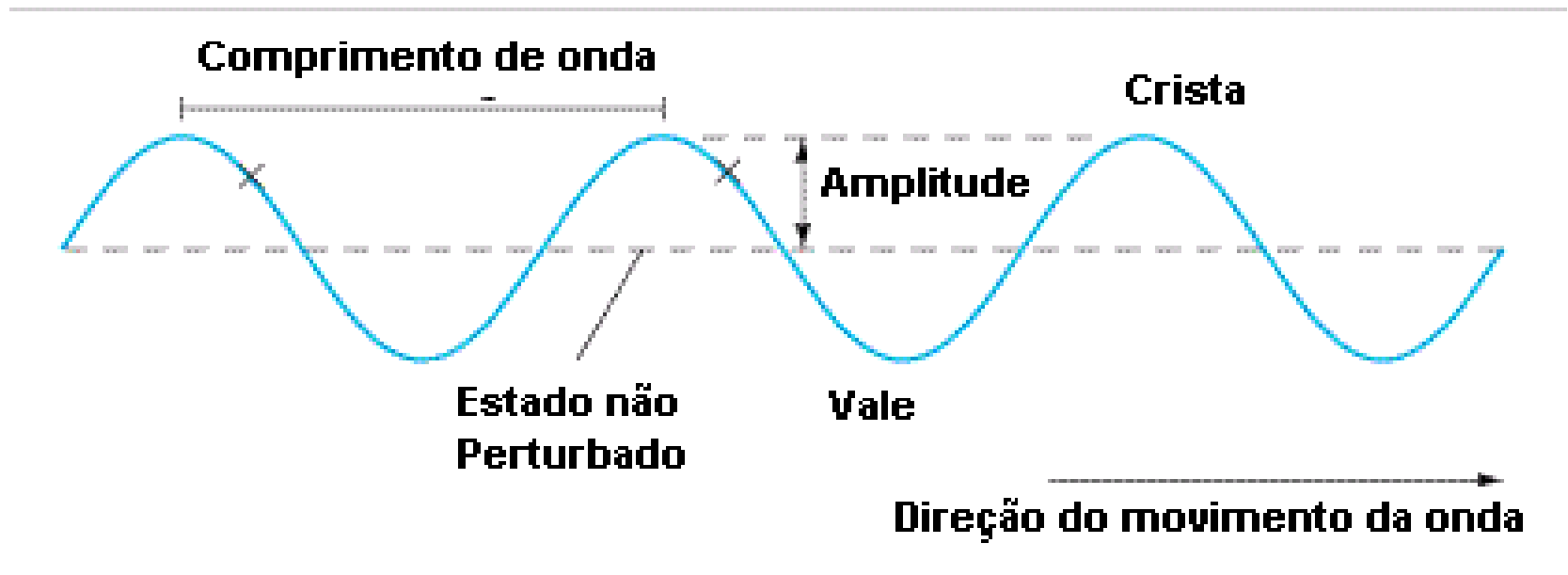
Parâmetros da Onda

Comprimento de Onda (λ)

Amplitude (A)

Comprimento

Altura



Propriedades das Ondas

- Mostraremos que a velocidade da onda é uma constante que depende apenas do meio, e não da amplitude, comprimento de onda ou período.

λ e T estão relacionados!



$$\lambda = v T \quad \text{ou} \quad \lambda = 2\pi v / \omega$$

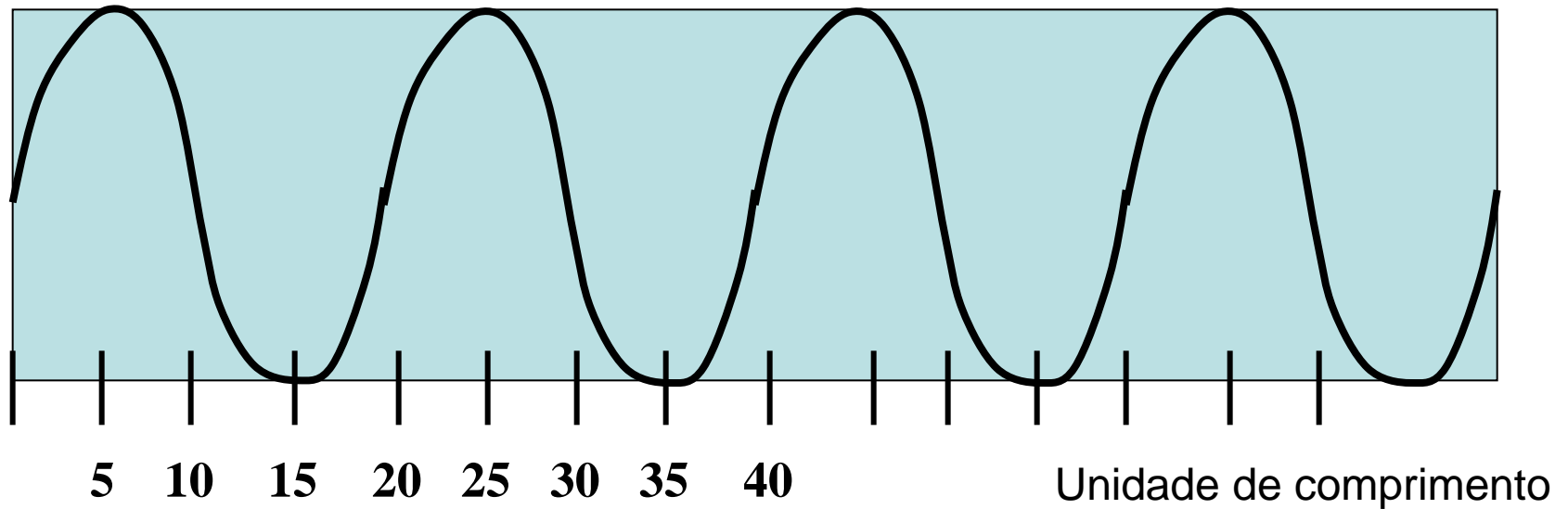
$$\text{(pois } T = 2\pi / \omega \text{)}$$

$$\text{ou } \lambda = v / f$$

$$\text{(pois } T = 1/f \text{)}$$

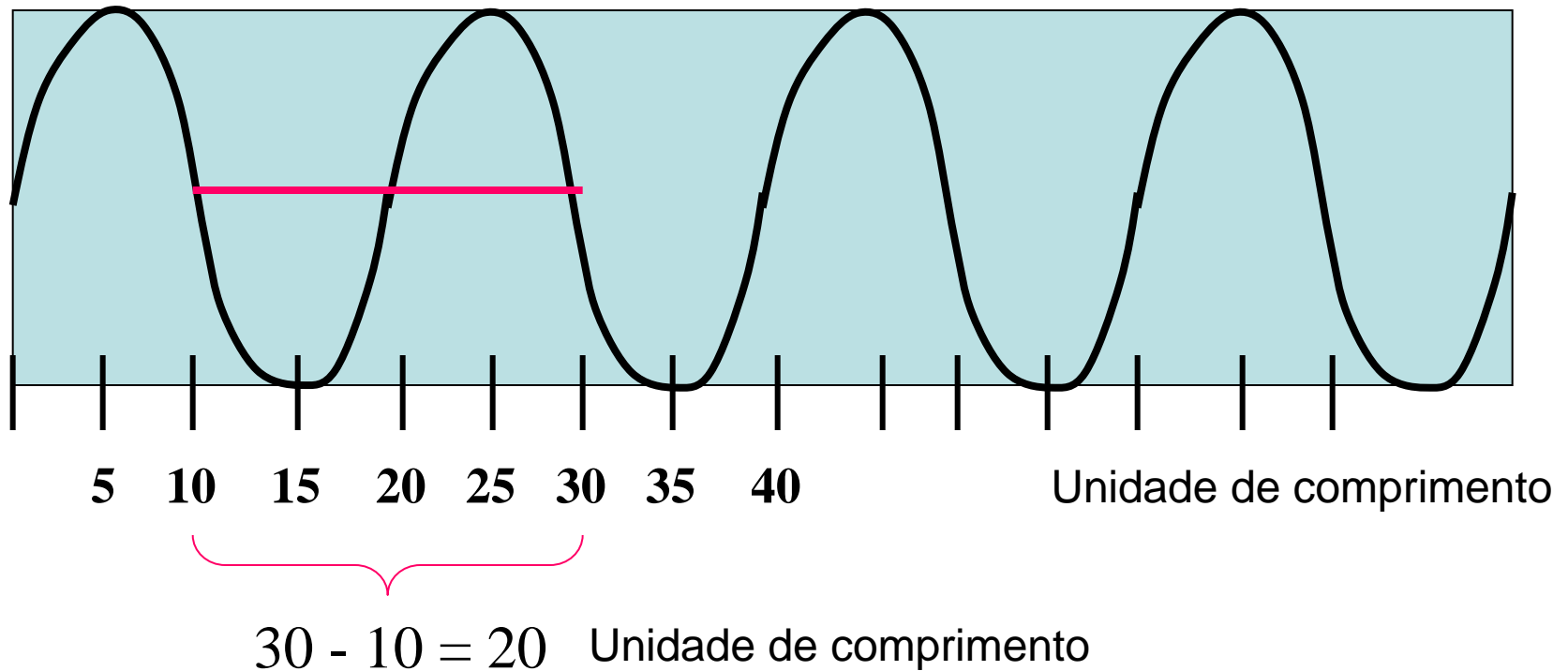
- Lembre-se que $f = \text{ciclos/seg}$ ou revoluções/seg
 $\omega = \text{rad/s} = 2\pi f$

Comprimento de Onda



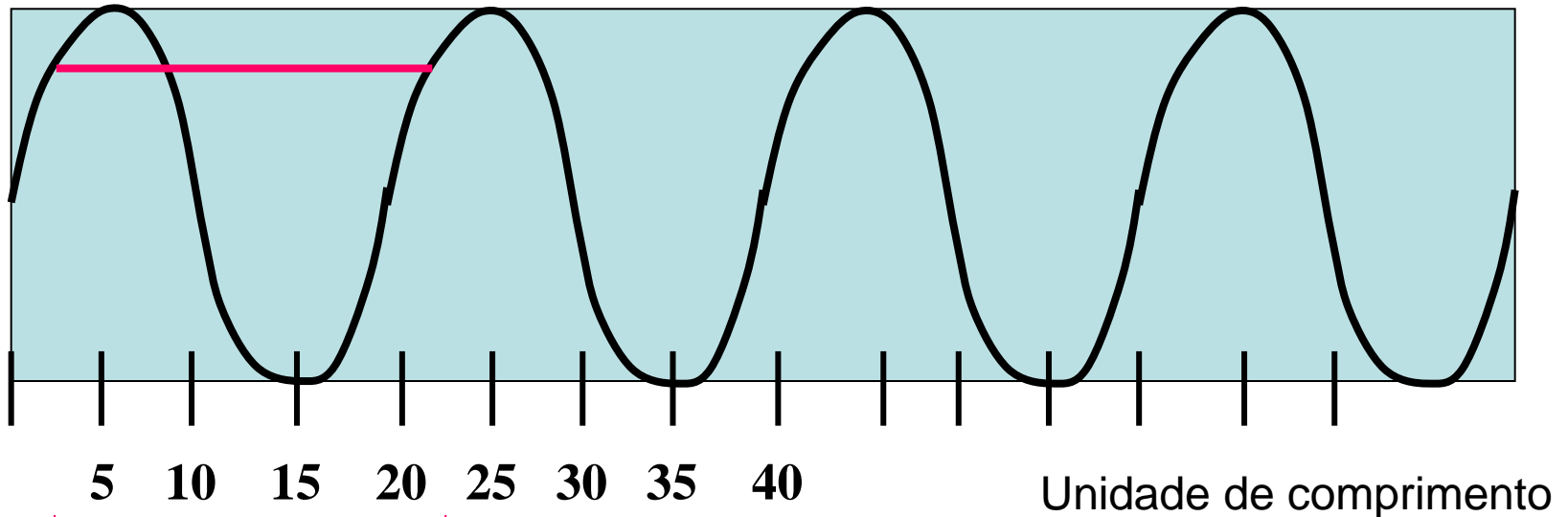
Comprimento de Onda

- Medida de dois pontos idênticos sucessivos



Comprimento de Onda

- Medidas de dois pontos idênticos sucessivos

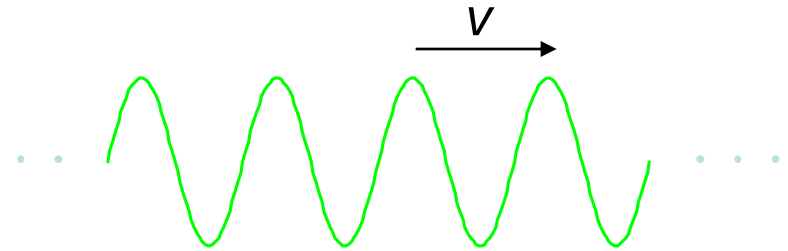


$$22,5 - 2,5 = 20 \text{ Unidade de comprimento}$$

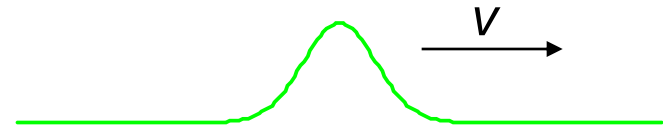
- Há 4 oscilações completas mostradas
- UMA ONDA = 1 Oscilação completa

Forma de onda

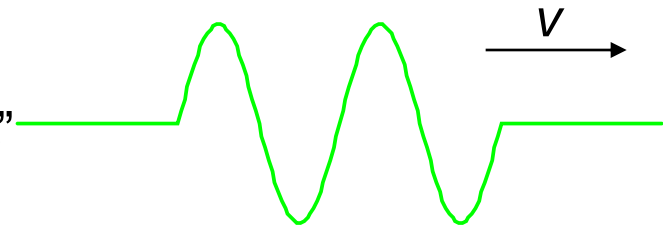
Até agora vimos apenas “ondas contínuas” que são infinitas em ambas direções!



Podemos ter também “pulsos” causados por um breve distúrbio do meio



E podemos ter também “trens de pulsos” que são algo intermediário.

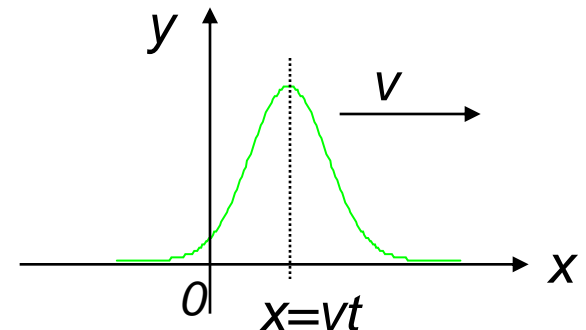
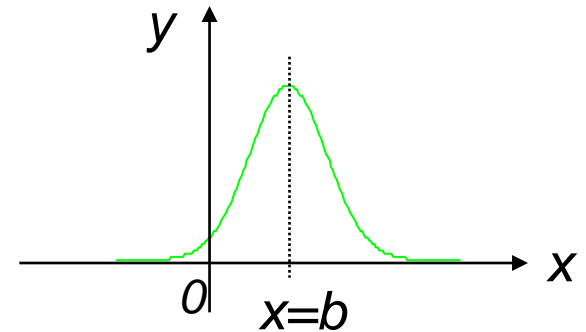
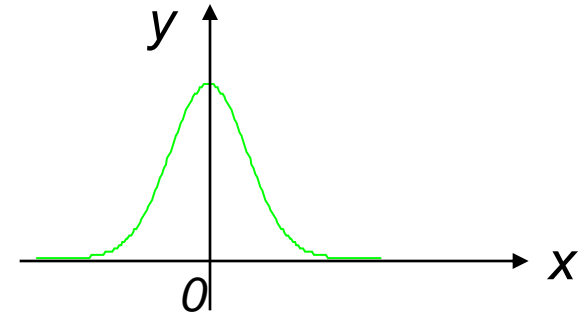


Descrição Matemática

- Supor que temos alguma função $y = f(x)$:

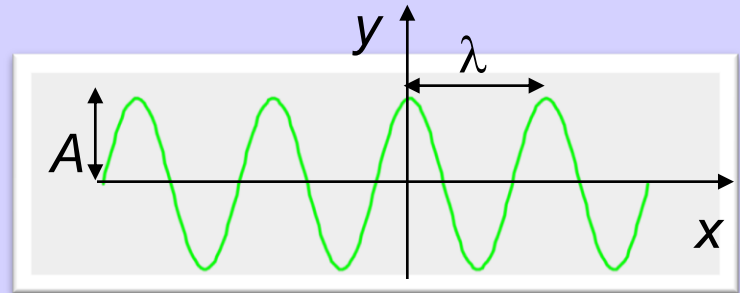
$f(x-b)$ tem a mesma forma, só que deslocada uma distância a à direita:

Seja $b = vt$ então $f(x-vt)$ será descrita pela mesma forma, se movendo à direita com velocidade v .



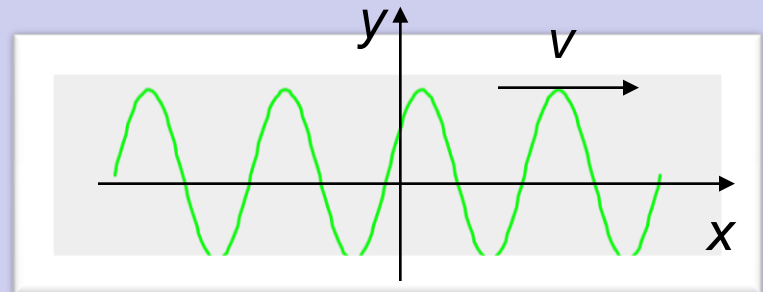
Considere uma onda harmônica em x com comprimento de onda λ .

Se a amplitude for máxima em $x=0$ essa onda tem a forma:



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

Mas, se ela está se movendo para a direita com velocidade v ela será descrita por:



$$y(x,t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} (x - vt)\right)$$

Mais matemática...

Uma simples onda harmônica se movendo com velocidade v na direção x é descrita pela equação:

$$y(x,t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x - vt)\right)$$

Usando $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\lambda\omega}{2\pi}$

vista anteriormente, e definindo

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

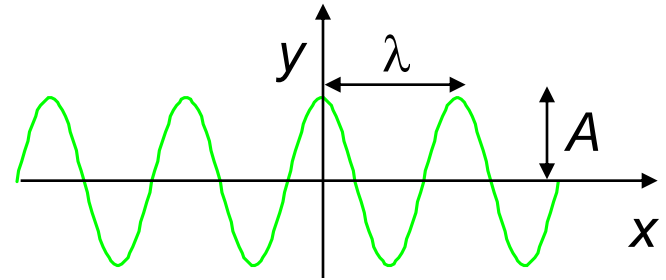
Podemos escrever a equação como:

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

(e como descrever uma onda se movendo na direção $-x$?)

Resumo matemático

A fórmula $y(x,t) = A \cos(kx - \omega t)$ descreve uma onda harmônica de amplitude A se movendo na direção $+x$.

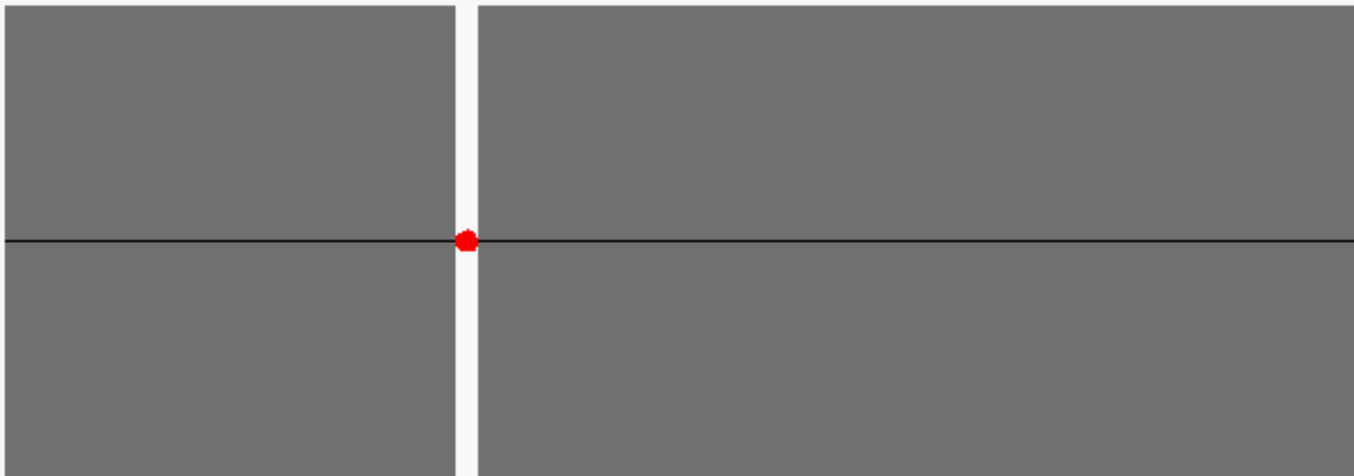


Cada ponto na onda oscila na direção y com movimento harmônico simples de frequência angular ω .

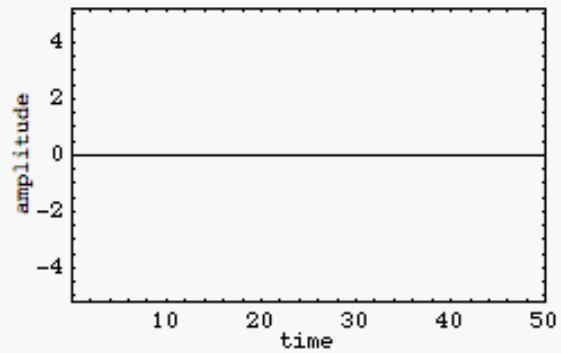
O comprimento de onda é: $\lambda = \frac{2\pi}{k}$

A velocidade da onda é: $v = \frac{\omega}{k}$

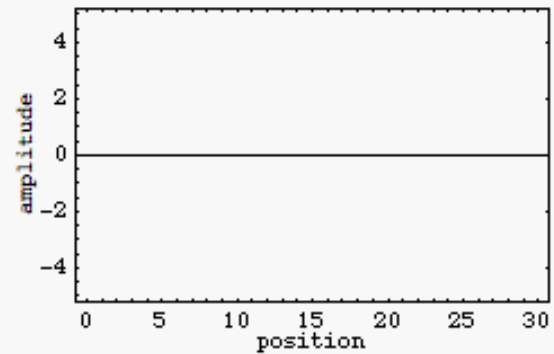
A quantidade k é chamada “número de onda”.



Time behavior at $x=10.25$



Snapshot of wave at $t=27s$



Ondas em cordas...

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$



- Aumentando a tensão, aumenta-se a velocidade.
- Aumentando a massa da corda, diminui-se a velocidade.
- **Estes fatos dependem apenas na natureza do meio, e não na amplitude, frequência, etc da onda.**

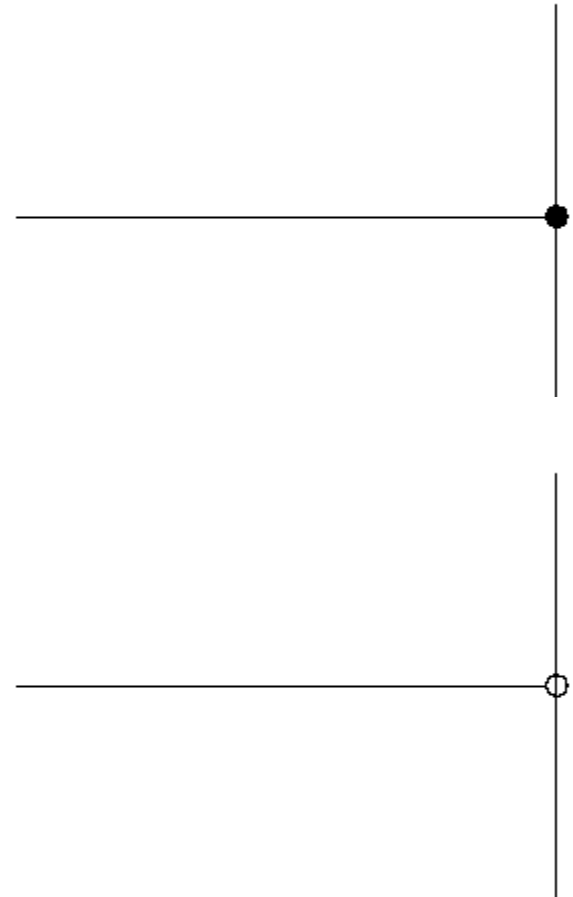
©2002, Dan Russell

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Reflexão de ondas

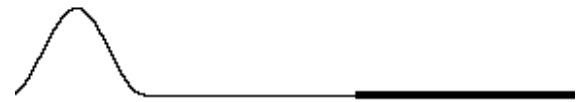
- Cordas com uma extremidade fixa:
 - Pulso refletido retorna invertido com relação ao incidente

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



Reflexão de ondas - cordas

- Reflexão em uma interface suave-rígida

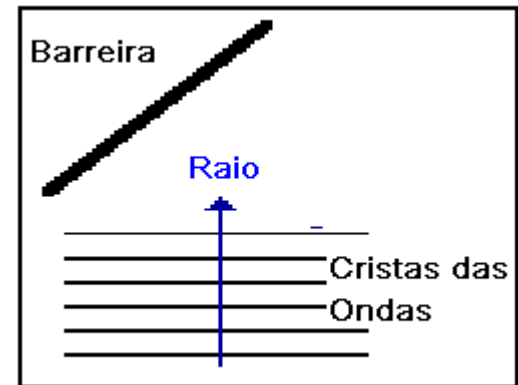


- Reflexão em uma interface rígida-suave

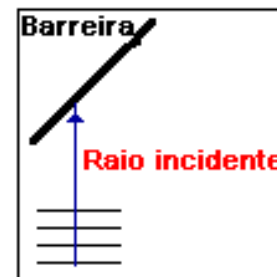


Reflexão de ondas

- **Lei da reflexão:** o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência.
- O raio é uma linha desenhada na direção do movimento, perpendicular à frente de onda.



As Leis da Reflexão



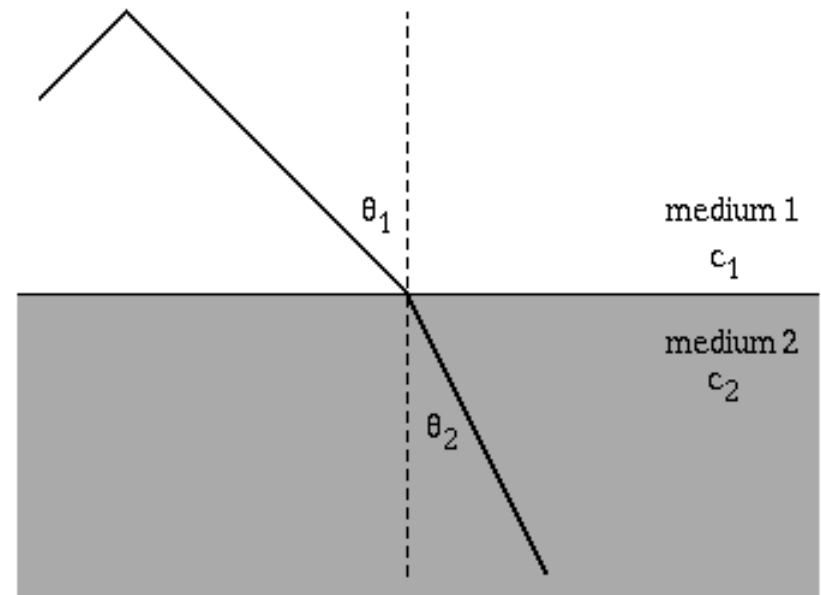
Antes da Reflexão Depois da Reflexão

Refração de ondas

Causada pela variação da velocidade da onda quando cruza dois meios com características diferentes.

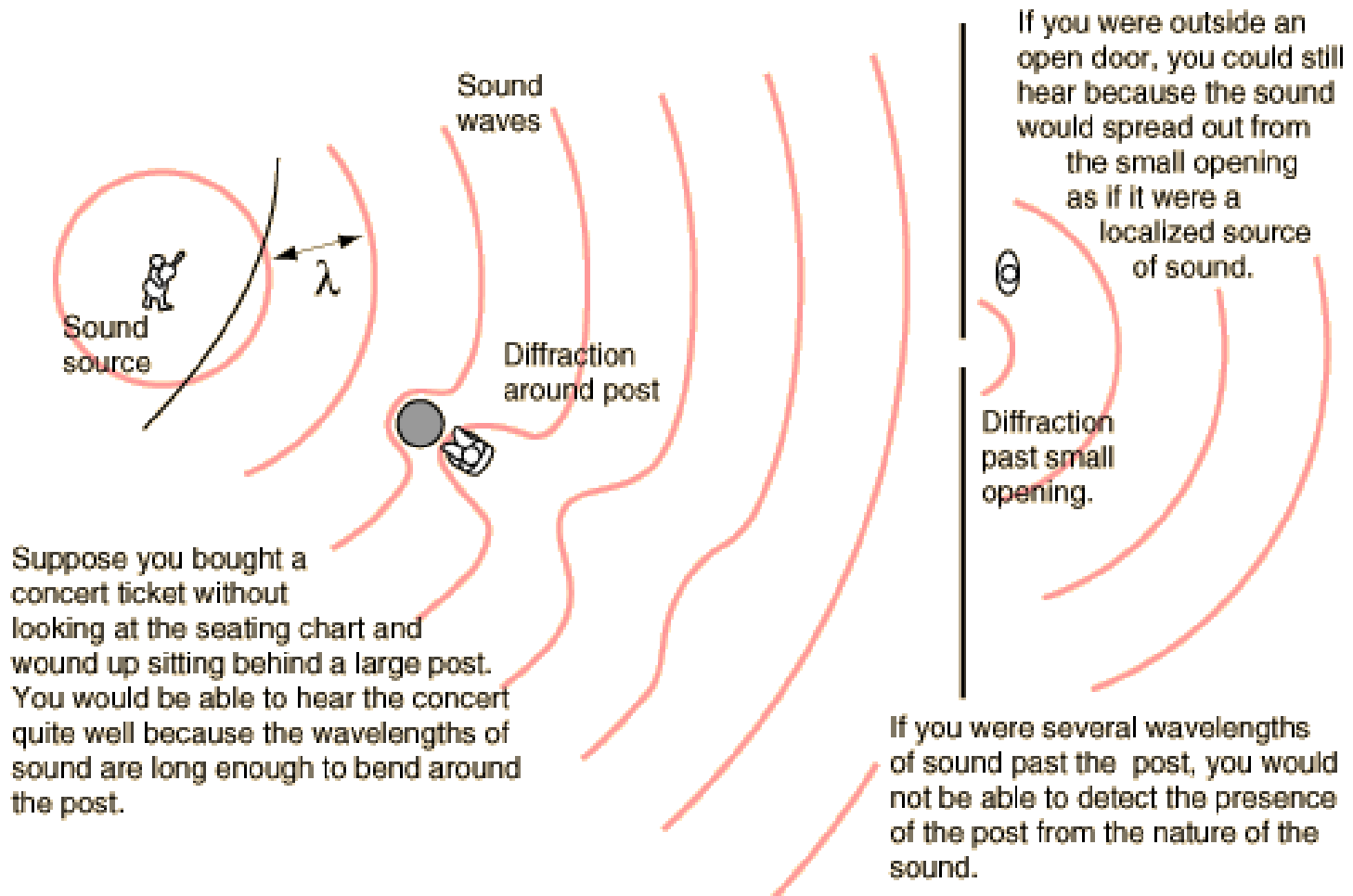
- Lei de Snell:

$$\frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2}$$



Difração

- Como conseguimos às vezes escutar atrás de um muro?



Interferência

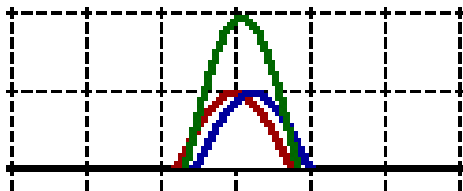


<http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/superposition/superposition.html>

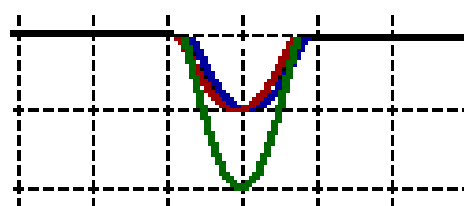
Interferência

Interferência Construtiva

Crista encontra Crista

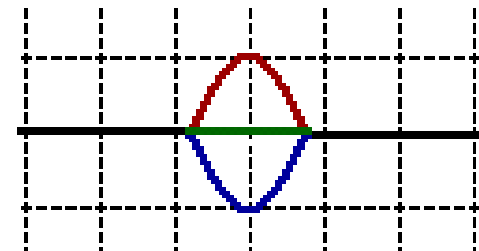


Vale encontra Vale



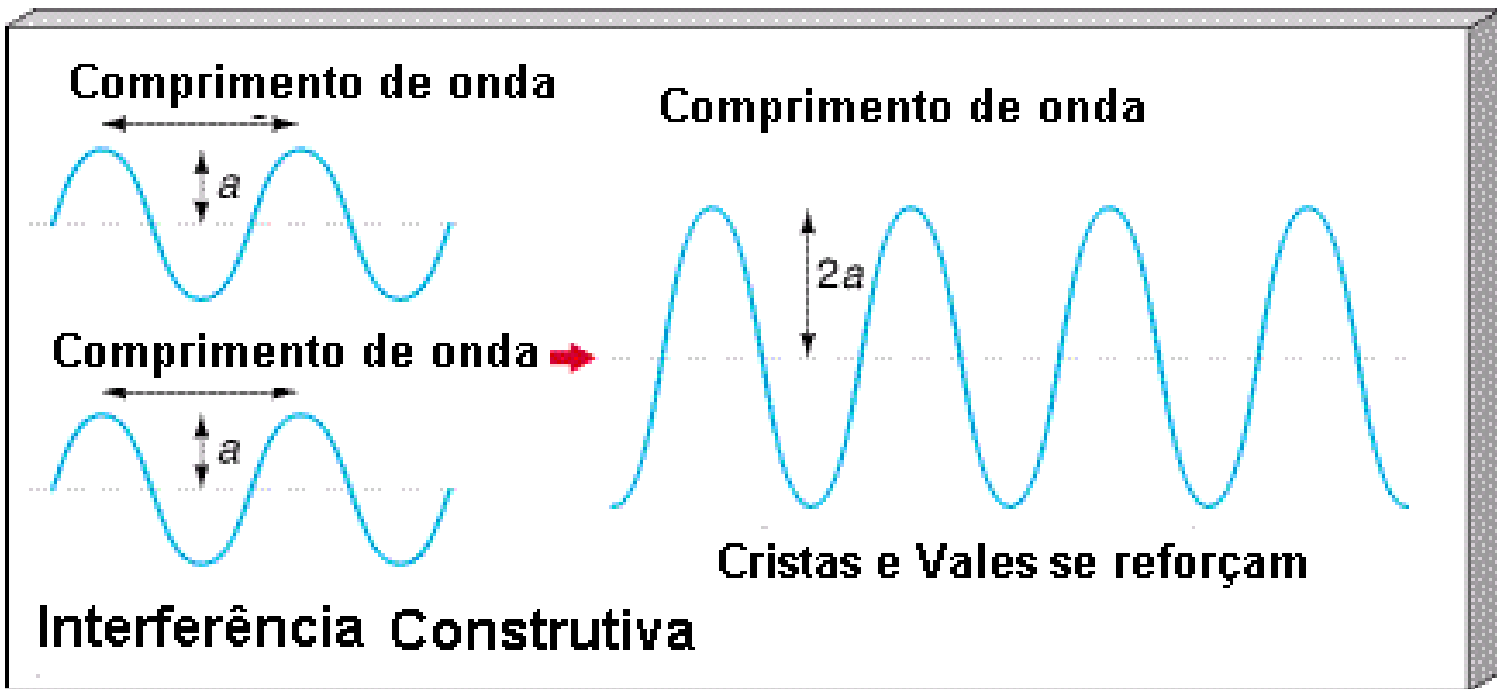
Destrutiva

Crista encontra Vale



Interferência construtiva

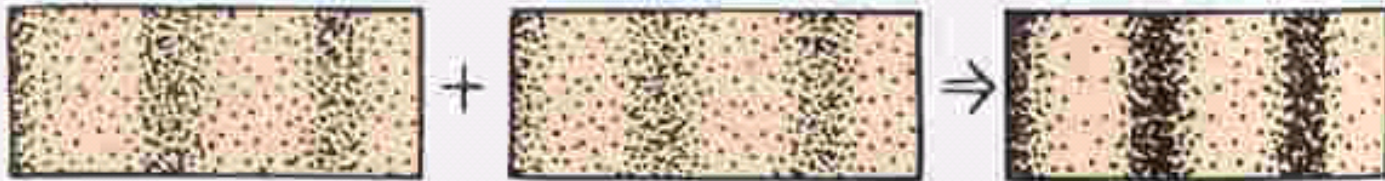
- Ondas que se somam sem diferença de fase



Interferência Construtiva



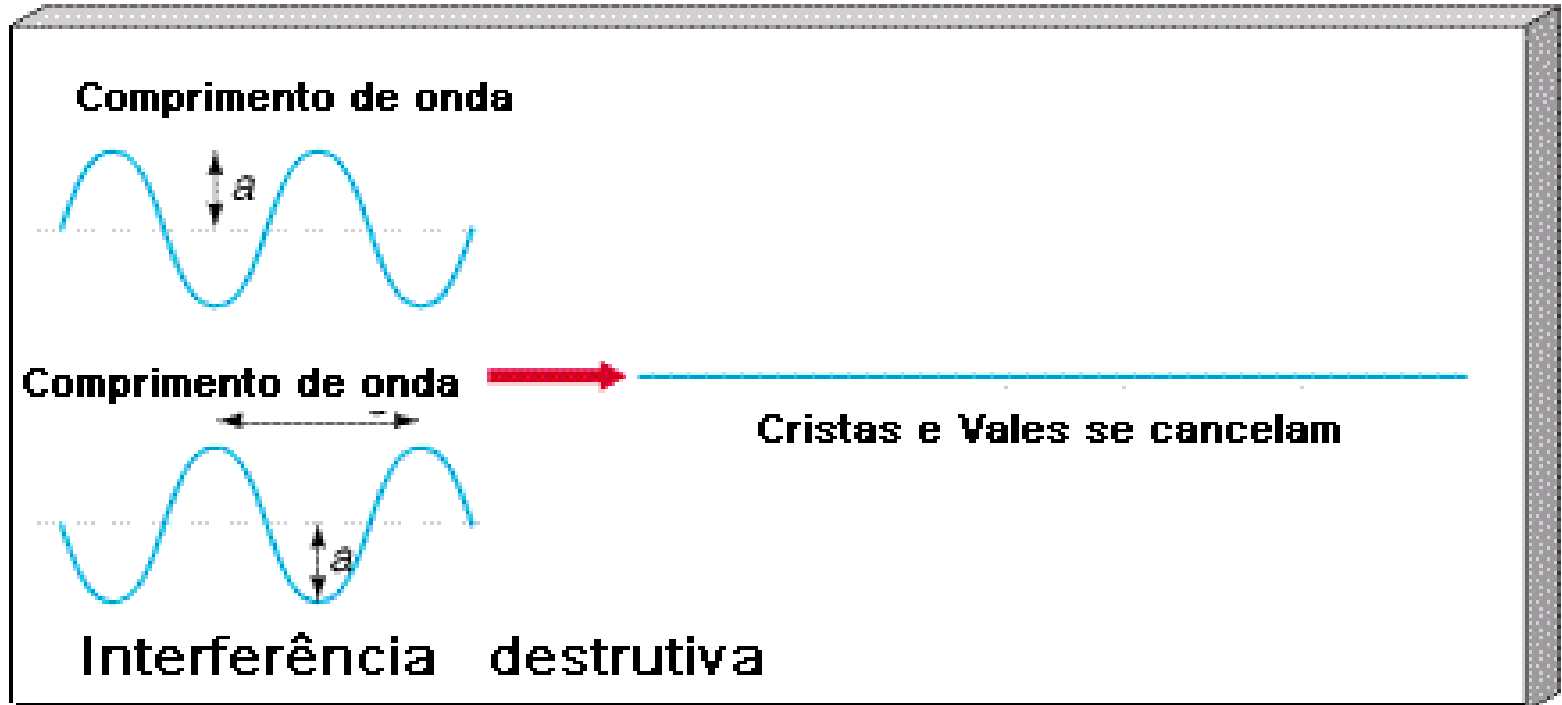
A superposição de duas ondas transversais idênticas em fase produz uma onda com intensidade aumentada



A superposição de duas ondas longitudinais idênticas em fase produz uma onda com intensidade aumentada

Interferência destrutiva

- Ondas combinantes com uma diferença de $\frac{1}{2}$ comprimento de onda.



Subtração de ondas

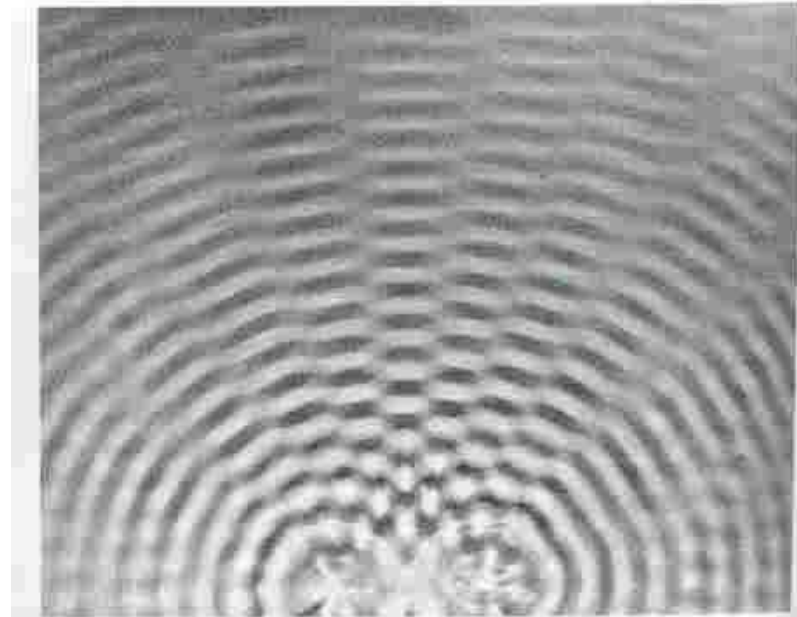
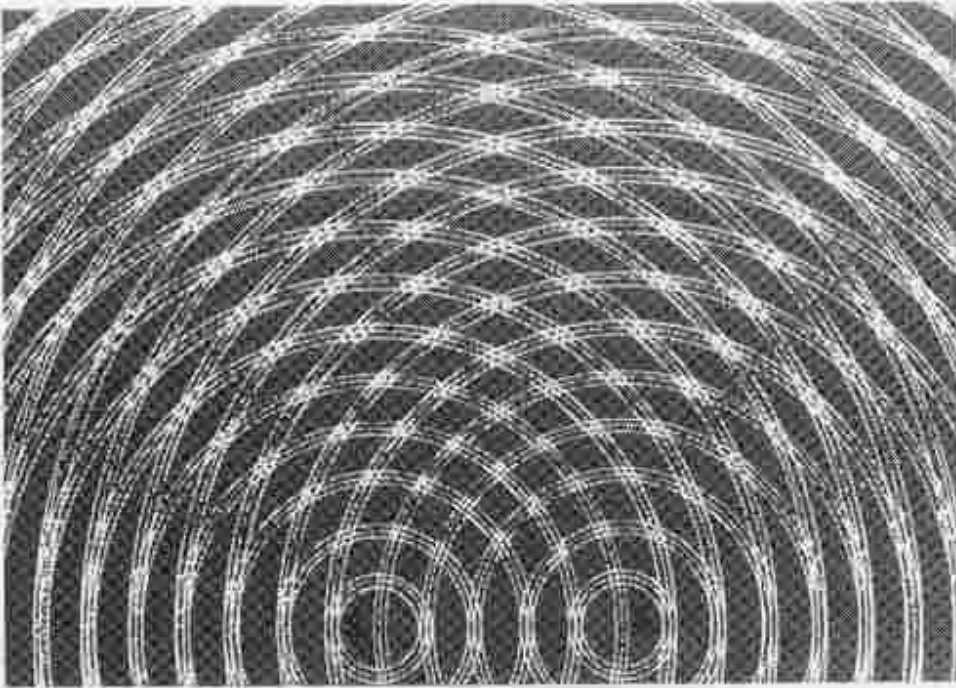


Duas ondas transversais idênticas que estão fora de fase destrõe-se mutuamente quando superpostas



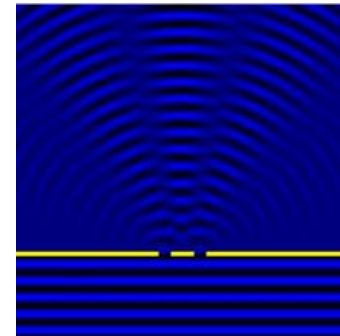
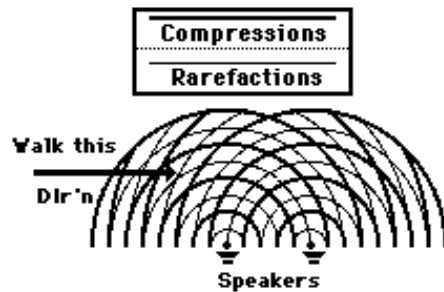
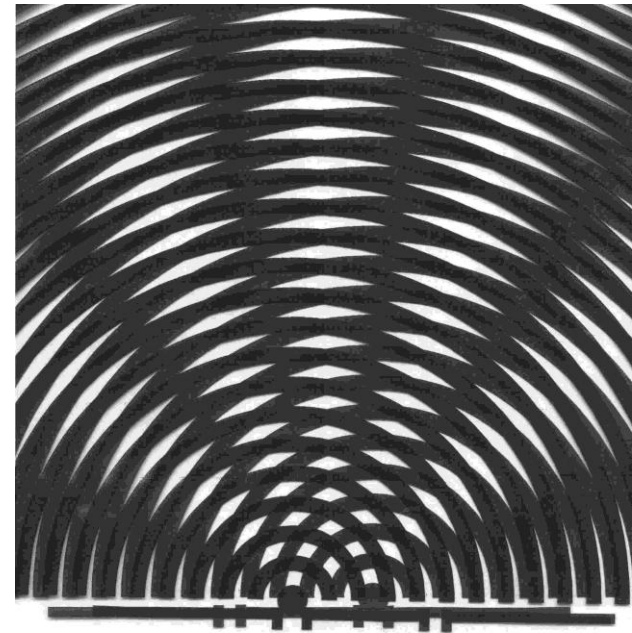
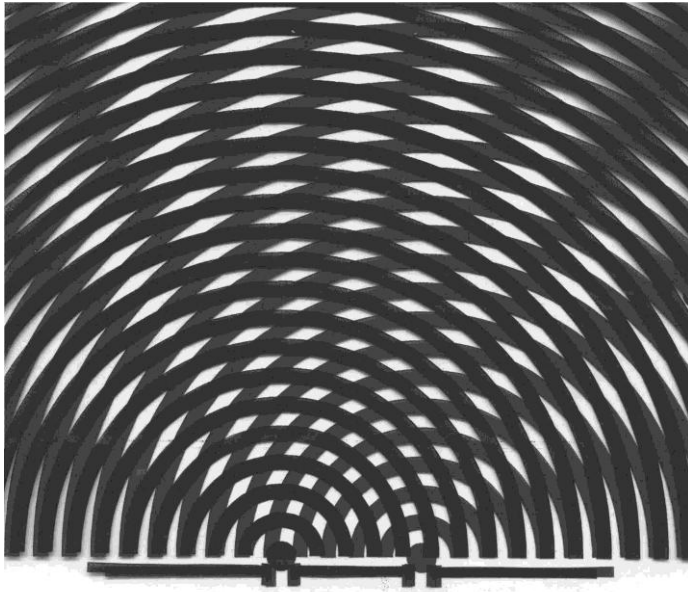
Duas ondas longitudinais idênticas que estão fora de fase destrõe-se mutuamente quando superpostas

Interferência

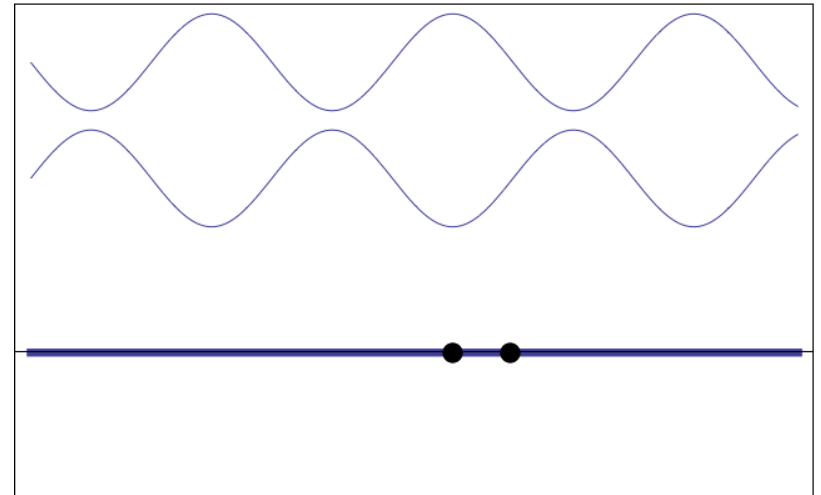
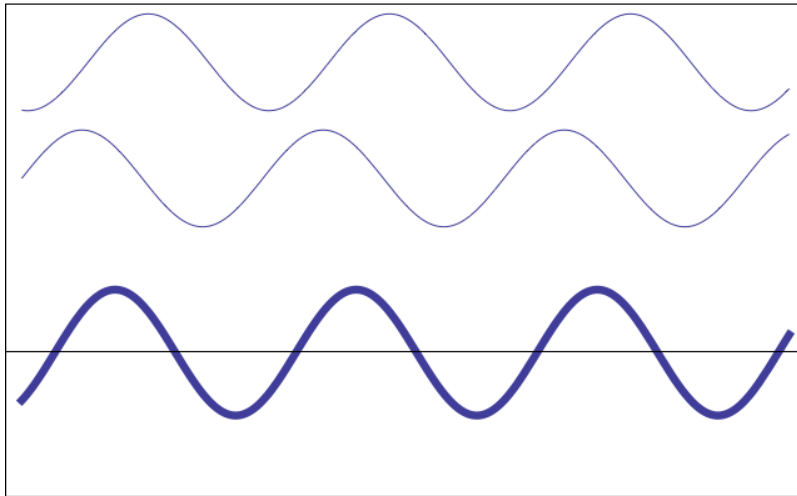


- Ondas de água de duas fontes

Interferência de duas fendas

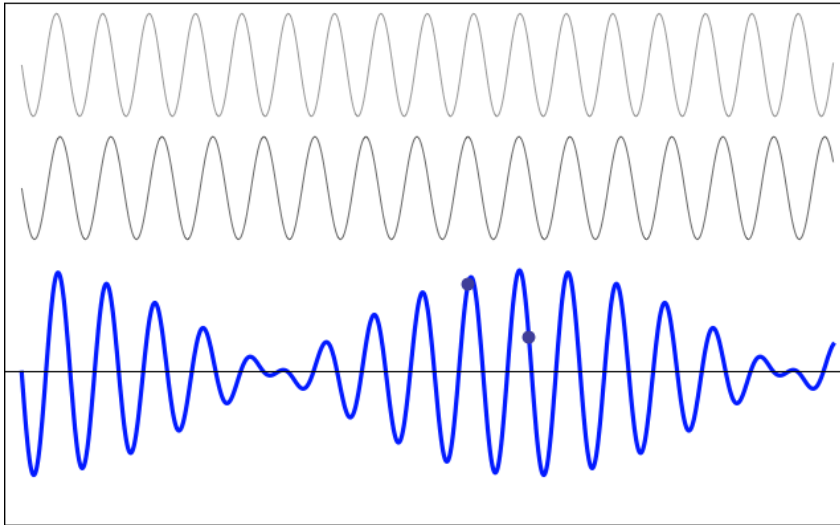


Interferência

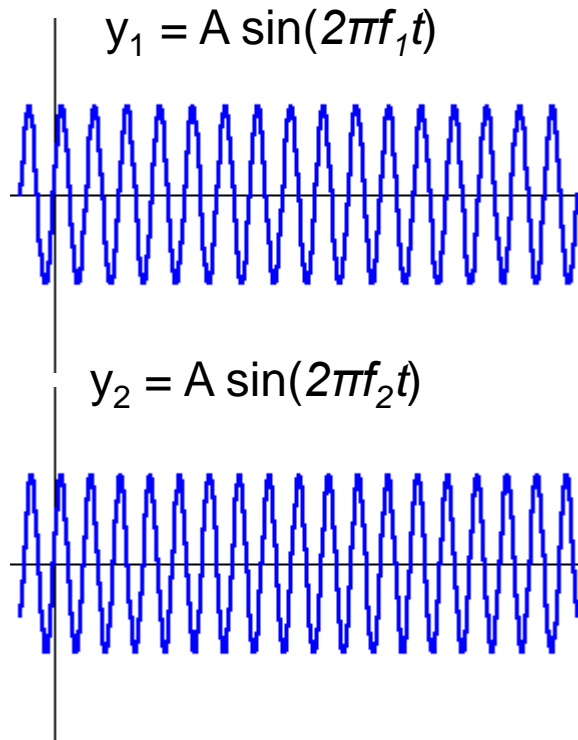


Interferência

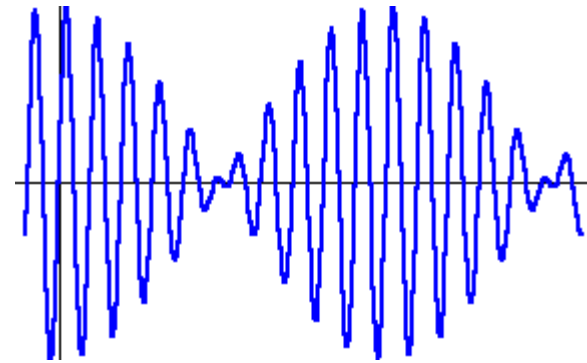
- **Duas ondas** viajando mesma direção.
- Com mesma velocidade.
- **Frequências** e comprimentos de ondas **diferentes**.



Batimento



$$y = y_1 + y_2 = \left[2A \cos 2\pi \left(\frac{f_1 - f_2}{2} \right) t \right] \cos 2\pi \left(\frac{f_1 + f_2}{2} \right) t$$



A onda resultante é uma onda de frequência $f_{\text{med}} = (f_1 + f_2)/2$ com um envelope com frequência $f_b = |f_1 - f_2|$. A frequência do envelope é chamada frequência de batimento (nome óbvio ao ouvir os sons).

Batimento

- 330 Hz senoidal.
- 330 Hz + 331 Hz. (resulta em uma frequência de batimento de 1 Hz.)
- 330 Hz + 340 Hz. (resulta em uma frequência de batimento de 10 Hz.)

Batimentos são geralmente usados para afinar instrumentos. A frequência desejada é comparada com a frequência do instrumento. Se um batimento é ouvido, significa que o instrumento está desafinado. Quanto maior a frequência de batimento, mais desafinado está o instrumento.

Efeito Doppler



Frequência = f_0

•



Frequência = $f_1 < f_0$

•



Frequência = $f_1 > f_0$

Efeito Doppler

- Mudança na frequência da onda devida ao movimento relativo entre a fonte e observador.
- A variação na frequência da onda é notada, pois a altura do som muda.





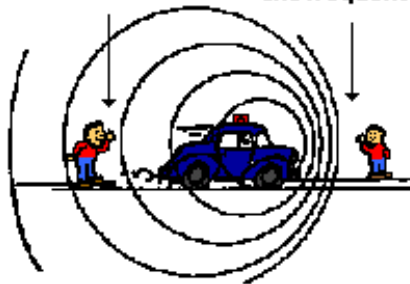
Efeito Doppler

- Mudança na frequência da onda devida ao movimento relativo entre a fonte e observador.

$$f' = f_0 \left(\frac{v \pm v_o}{v \pm v_s} \right)$$

Comprimento de onda grande
baixa frequência

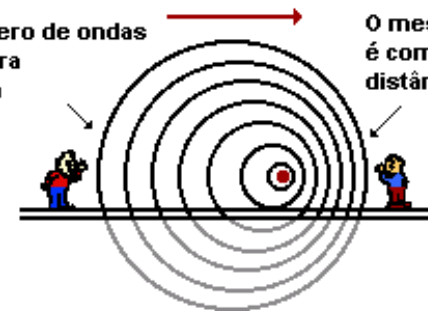
Comprimento de onda grande
alta frequência



O efeito Doppler para um fonte sonora em movimento

Fonte em Movimento

O mesmo Número de ondas
é expandido para
preencher uma
distância maior



O mesmo número de ondas
é comprimido em uma
distância menor

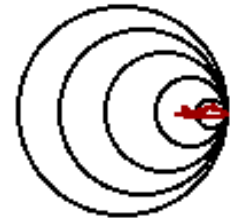
Questão

- * Um apito de trem em repouso tem uma frequência de 3000 Hertz. Se você está parado e percebe uma frequência de 3010 Hertz, então você conclui que...
- a) *O trem está se distanciando de você.*
 - ▪ b) *O trem está se aproximando de você.*
 - c) *O som do apito ecoou.*
 - d) *Não é dada informação suficiente.*

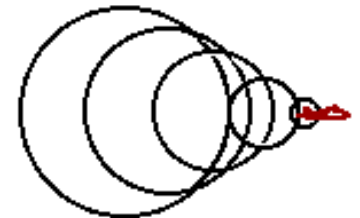
Velocidade do Som

- Subsônico: Mais lento que a velocidade do som
- Supersônico: Mais rápido que a velocidade do Som

Ondas de Choque



Avião movendo-se na velocidade do som



Avião movendo-se mais rápido que a velocidade do som

$$\text{Número Mach} = \frac{\text{Velocidade do objeto}}{\text{Velocidade do som}}$$

.

Mach = 0

.

Mach = 0,7

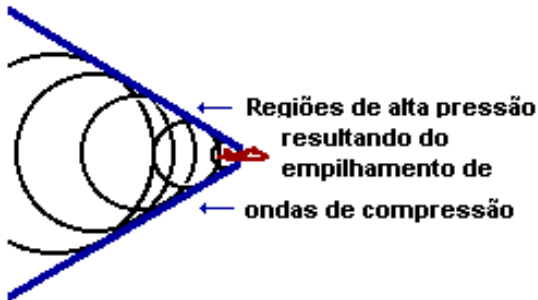
.

Mach = 1

.

Mach > 1

Ondas de Choque

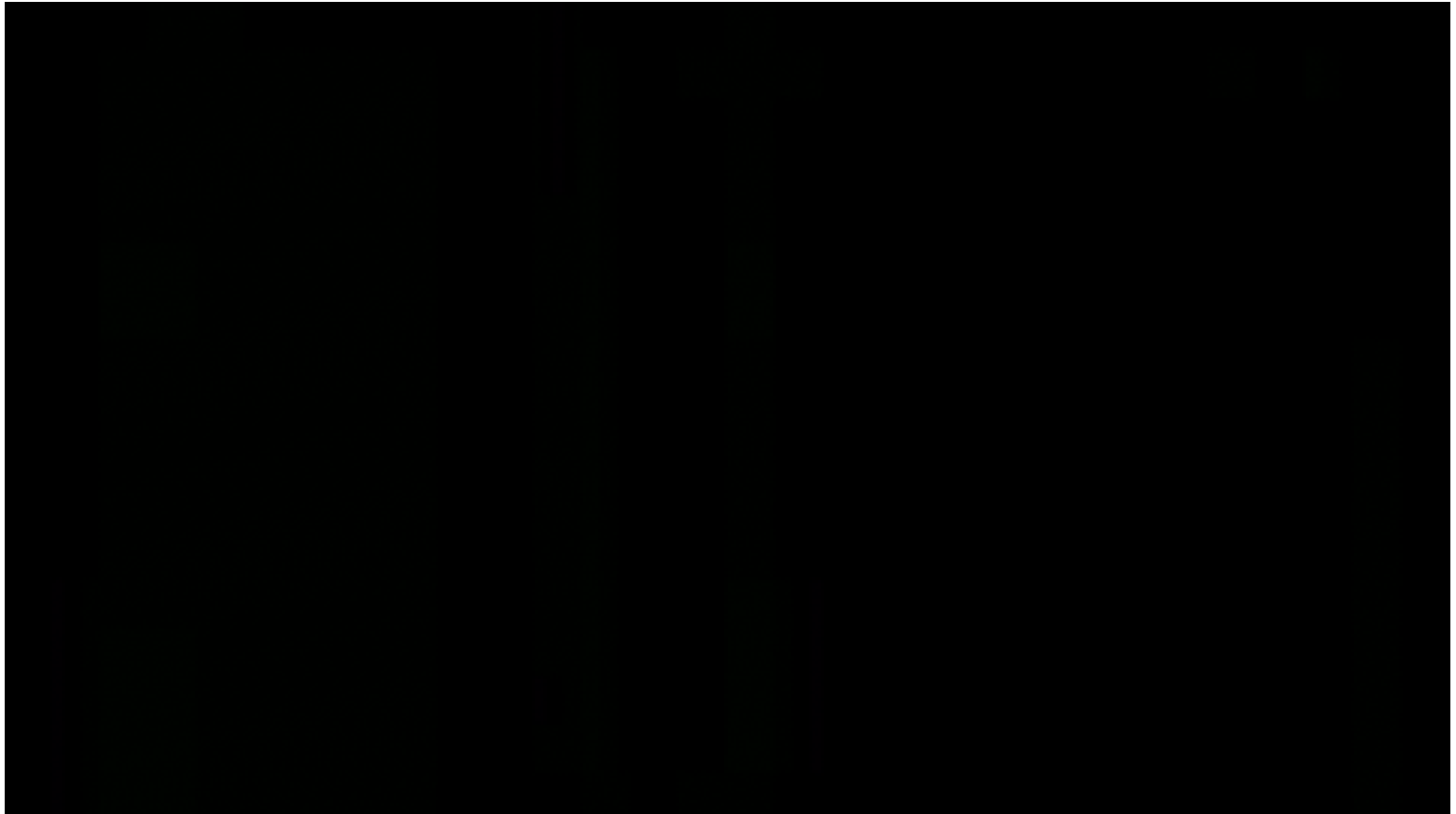


Quando um avião supersônico passa sobre nós, no lugar de ouvirmos ondas de compressão e rarefação em tempos separados, ouvimos todas de uma única vez. Isso cria o ESTRONDO SONORO

- Assim como ondas circulares emergem de um inseto que nada, ondas esféricas emergem de um objeto que se desloca. Se o objeto se desloca a uma velocidade maior que a das ondas, o resultado é uma onda de choque em forma de cone.
- Ouvem-se dois "booms", um da frente do objeto voador, e o outro da parte de trás.



Onda de Choque



Páginas interessantes

- *Dan Russell acoustics animation page:*

<http://www.kettering.edu/~drussell/Demos.html>

Mais páginas em:

<http://www.ifi.unicamp.br/~knobel/f105>