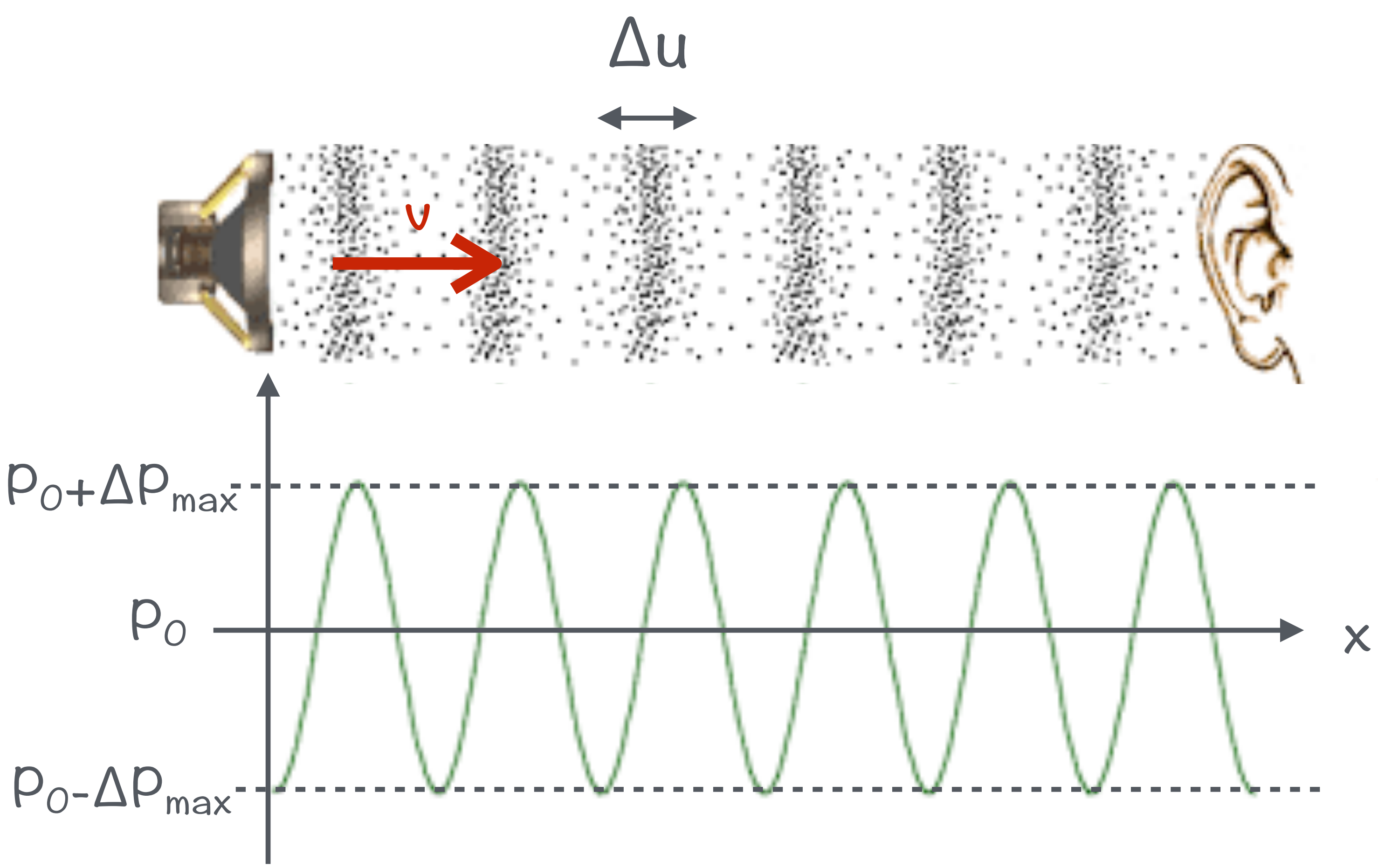
ONDAS SONORAS

Som - onda longitudinal



Regiões de compressão e rarefação do ar

Onda de pressão

ou

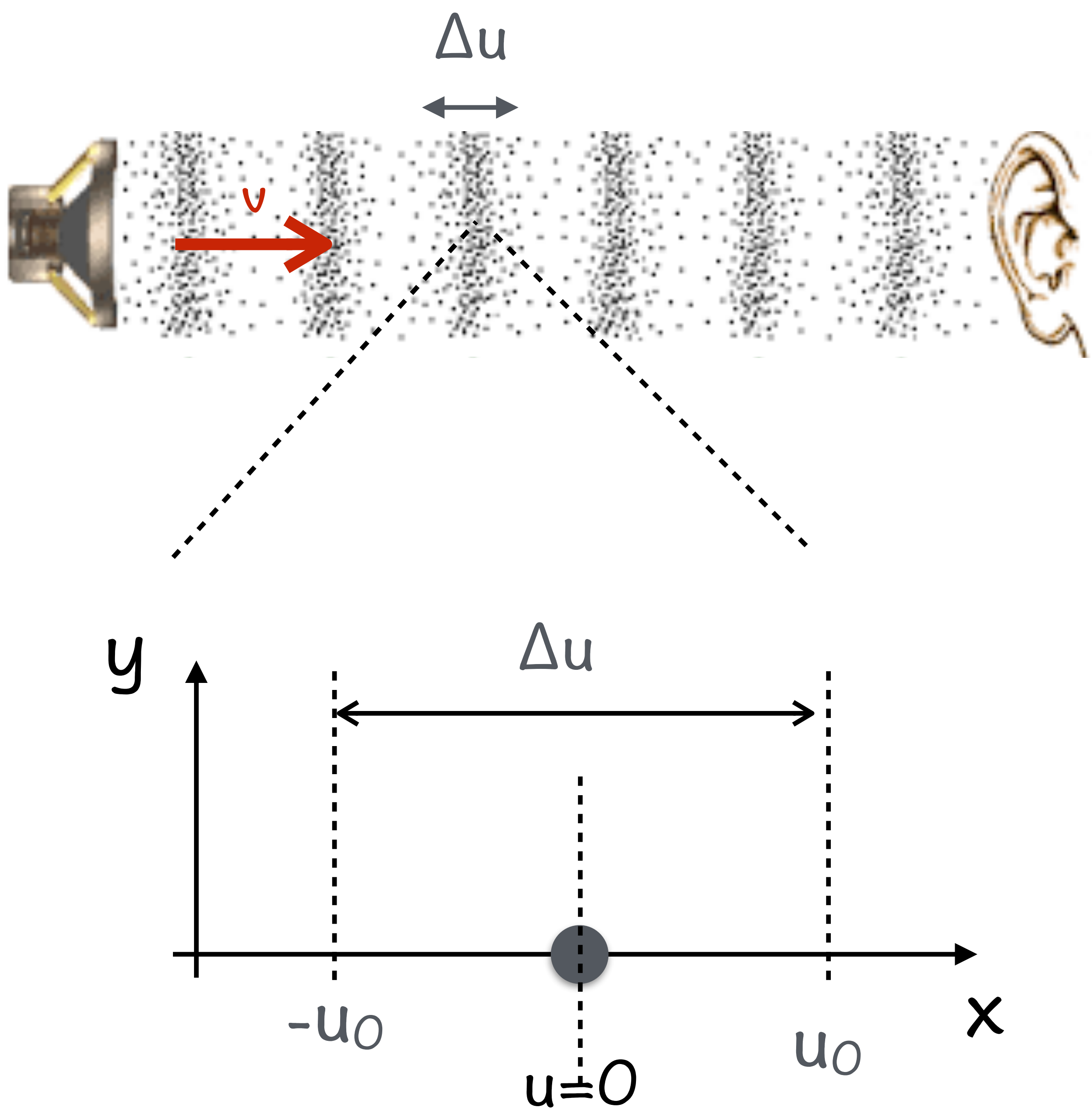
Onda de deslocamento

ou

Onda de densidade

Relação entre elas?

Onda Periódica de Deslocamento



posição de equilíbrio

$$\boxed{u(x,t) = \underbrace{u_0}_{\text{Amplitude do deslocamento lateral}} sen(kx - \omega t + \varphi)}$$

Amplitude do
deslocamento lateral

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

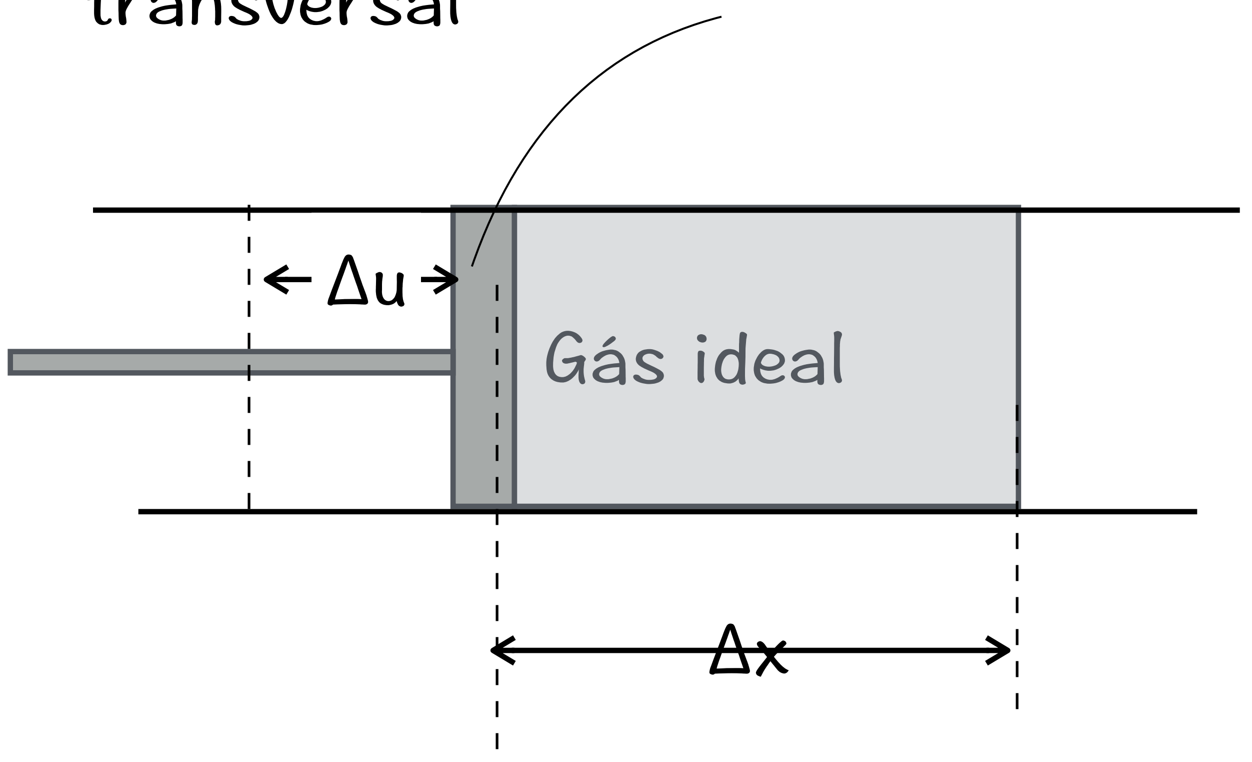
$$kv = \omega \qquad \omega = 2\pi f$$

$$v = \lambda f$$

Onda Periódica de Pressão

Modelo: Pistão com embolo que oscila produzindo deslocamento do ar e pequenas variações de pressão.

A =Area de Seção transversal



Gás ideal

$$P = \frac{nRT}{V} \qquad \frac{1}{\kappa} = B = -V\frac{\Delta P}{\Delta V}$$

κ=Módulo de compressibilidade

B=Módulo de elasticidade

ar: $B=1,42\times10^{5}$ Pa

Volume $V=A\Delta x$

Variação do volume: $\Delta V=A\Delta u$

Δu=pequeno deslocamento em relação á posição de equilíbrio

Gás ideal

$$B = -V\frac{\Delta P}{\Delta V} \rightarrow \Delta P = -B\frac{\Delta V}{V}$$

$$\Delta V = A\Delta u$$

$$V = A\Delta x$$

$$\rightarrow \Delta P = -B\frac{A\Delta u}{A\Delta x}$$

limite pequenos deslocamentos

$$\boxed{\Delta P = -B\frac{\partial u}{\partial x}}$$

$$u(x,t) = u_0 sen(kx - \omega t + \varphi)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = ku_0 cos(kx - \omega t + \varphi)$$

$$\rightarrow \Delta P = -\underbrace{Bku_0}_{\Delta P_{max}} cos(kx - \omega t + \varphi)$$

$$\boxed{\Delta P = -\Delta P_{max} cos(kx - \omega t + \varphi)}$$

→ **Onda periódica de pressão**

As ondas de pressão e deslocamento estão defasadas de π/2

Onda Periódica de Densidade

A variação de pressão produz uma variação de densidade:

$$\rho = \frac{M}{V} \Rightarrow \frac{d\rho}{dV} = -\frac{M}{V^2} = -\frac{M}{V}\frac{1}{V}$$

$$\frac{d\rho}{dV} = -\frac{\rho}{V} \Rightarrow \frac{d\rho}{\rho} = -\frac{dV}{V}$$

Lembrando que: $\Delta P = -B\frac{\Delta V}{V} \Rightarrow \Delta P = B\frac{\Delta \rho}{\rho} \Rightarrow \Delta\rho = \frac{\rho}{B}\Delta P$

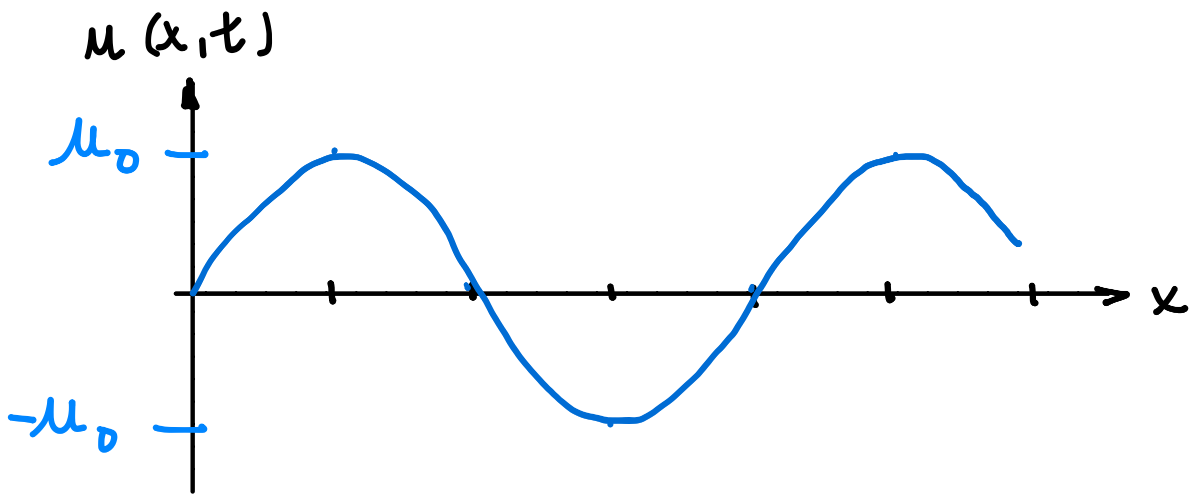
$$\Delta P = -Bku_0 cos(kx - \omega t + \varphi)$$

$$\boxed{\Delta\rho = -\rho k u_0 cos(kx - \omega t + \varphi)}$$

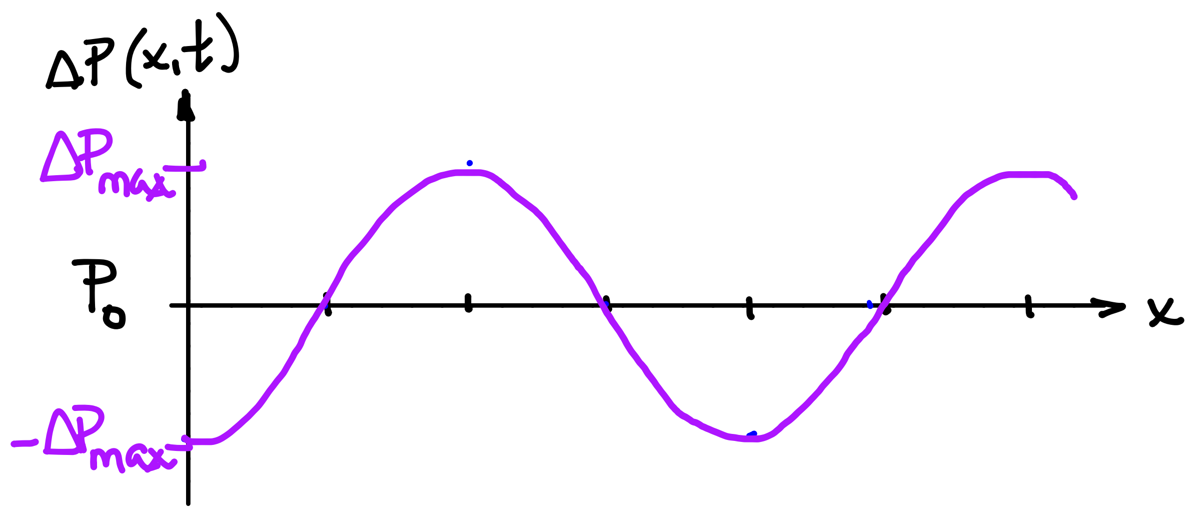
Onda periódica de densidade, em fase com a onda de pressão

A onda de pressão e de densidade estão em fase

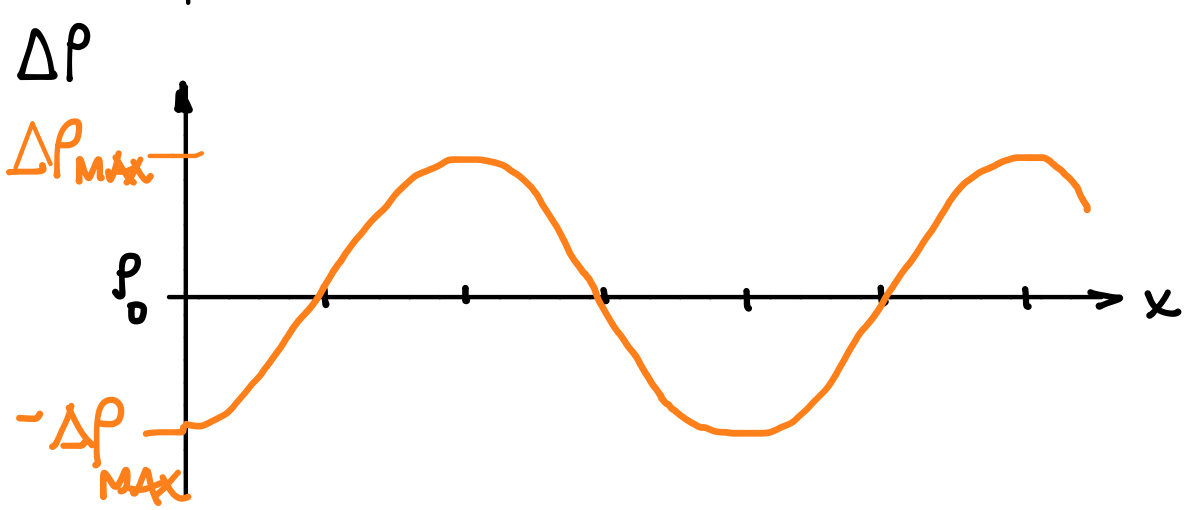
A onda de pressão e de deslocamento estão defasadas de π/2



$$u = u_0 sen(kx - \omega t + \varphi)$$



$$\Delta P = -Bku_0 cos(kx - \omega t + \varphi)$$



$$\Delta \rho = -\rho k u_0 cos(kx - \omega t + \varphi)$$

Equação diferencial da onda sonora

A equações da ondas periódica de deslocamento (densidade, pressão, também) devem satisfazer a equação diferencial da onda.

$$\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \qquad u = u_0 sen(kx - \omega t + \varphi)$$

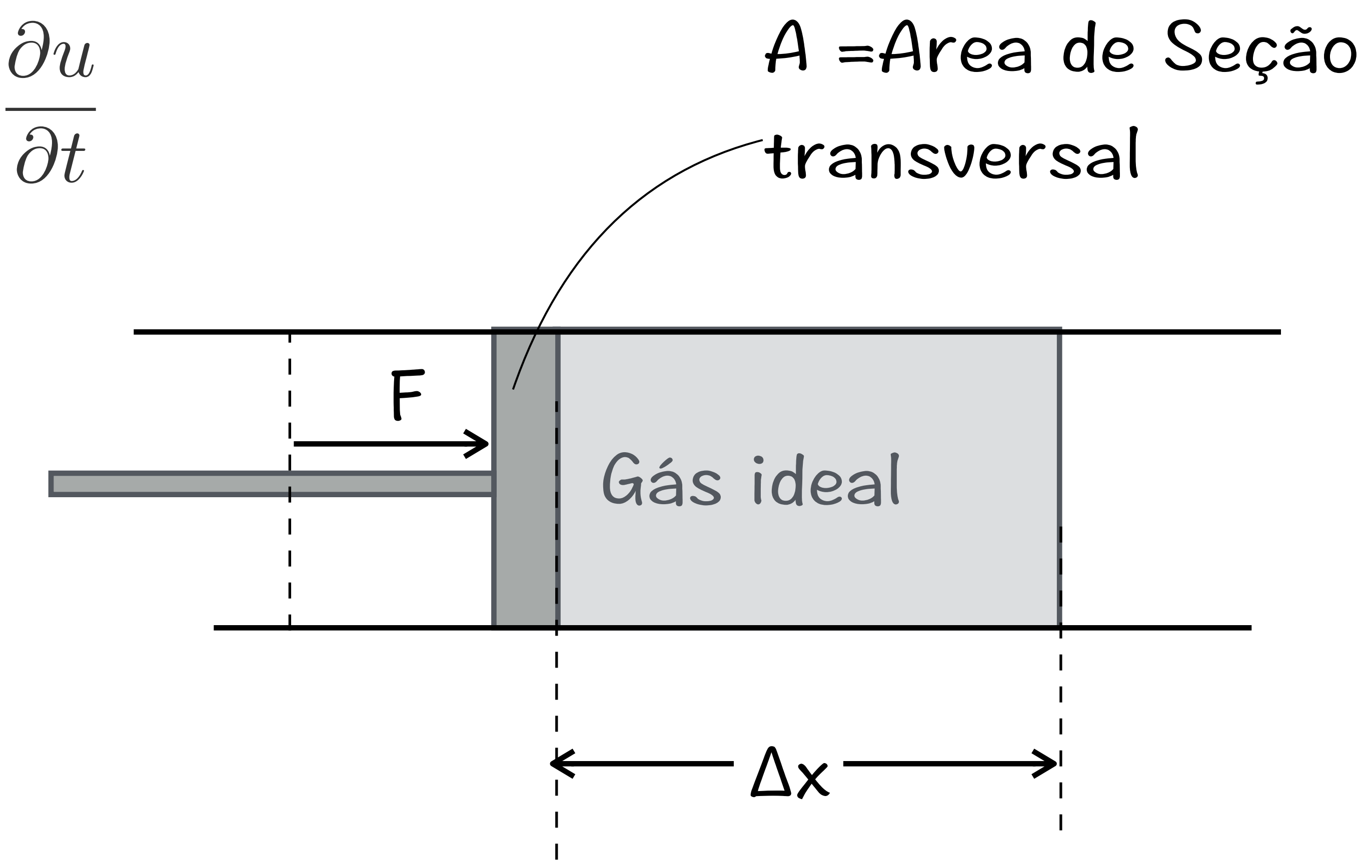
A velocidade de propagação da onda sonora depende das propriedades elásticas do meio:

corda	ar	sólido	
$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$	$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$	$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$	Y=módulo de Young

Intensidade da onda Sonora

Potencia instantânea : $Pot = F\dfrac{\partial u}{\partial t}$

Pressão = $\dfrac{\text{Força}}{\text{unidade de área}}$



$$F = (\Delta P)A$$

$$\Delta P = -B\frac{\partial u}{\partial x}$$

$$Pot = -BA\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)$$

Intensidade da Onda=I

I=Potencia/área.

$$I = -B\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)$$

unidades: $J/(s.m^2)$ ou W/m^2

$$I = -B\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)$$

$$u = u_0 sen(kx - \omega t + \varphi) \rightarrow \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial t} = u_0 \omega cos(kx - \omega t + \varphi) \\ \frac{\partial u}{\partial x} = -u_0 k cos(kx - \omega t + \varphi) \end{array}$$

$$\boxed{I = Bk\omega u_0^2 cos^2(kx - \omega t + \varphi)}$$

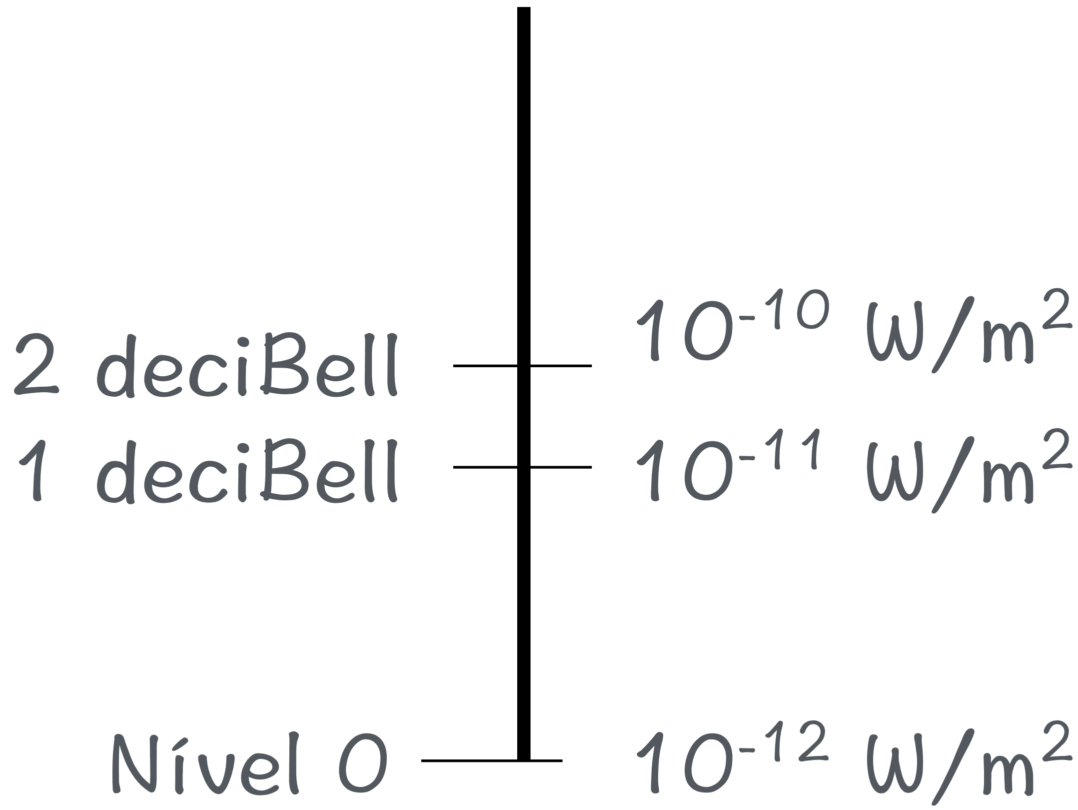
Intensidade Média em um período:

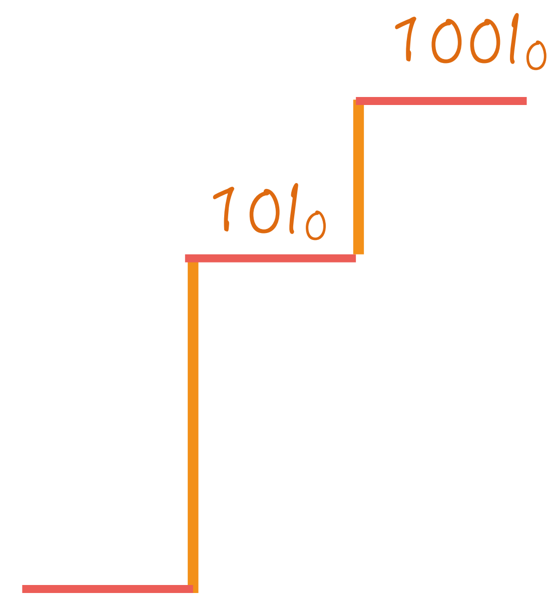
$$\overline{I} = Bk\omega u_0^2 \left[\overline{cos^2(kx - \omega t + \varphi)}\right] \rightarrow \overline{I} = \frac{Bk\omega u_0^2}{2}$$

$$kv = \omega \rightarrow \overline{I} = \frac{B\omega^2 u_0^2}{2v} \rightarrow \boxed{\text{Proporcional:} \omega^2,\ u_0{}^2}$$

Escala Bell / deciBell

Escala logarítimica





$$\beta = 10log\left(\frac{I}{I_0}\right) \rightarrow \text{Intensidade em deciBell}$$

$I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

I= Intensidade em W/m^2

Fonte sonora	Intensidade (W/m^2)	Nível do Som (dB)
Avião a jato (30 m de distância	10^2	140
Sirene de Ambulância	1	120
Música em Amplificador	10^{-1}	115
Trânsito em rua movimentada	10^{-5}	70
Conversação em casa	10^{-6}	60

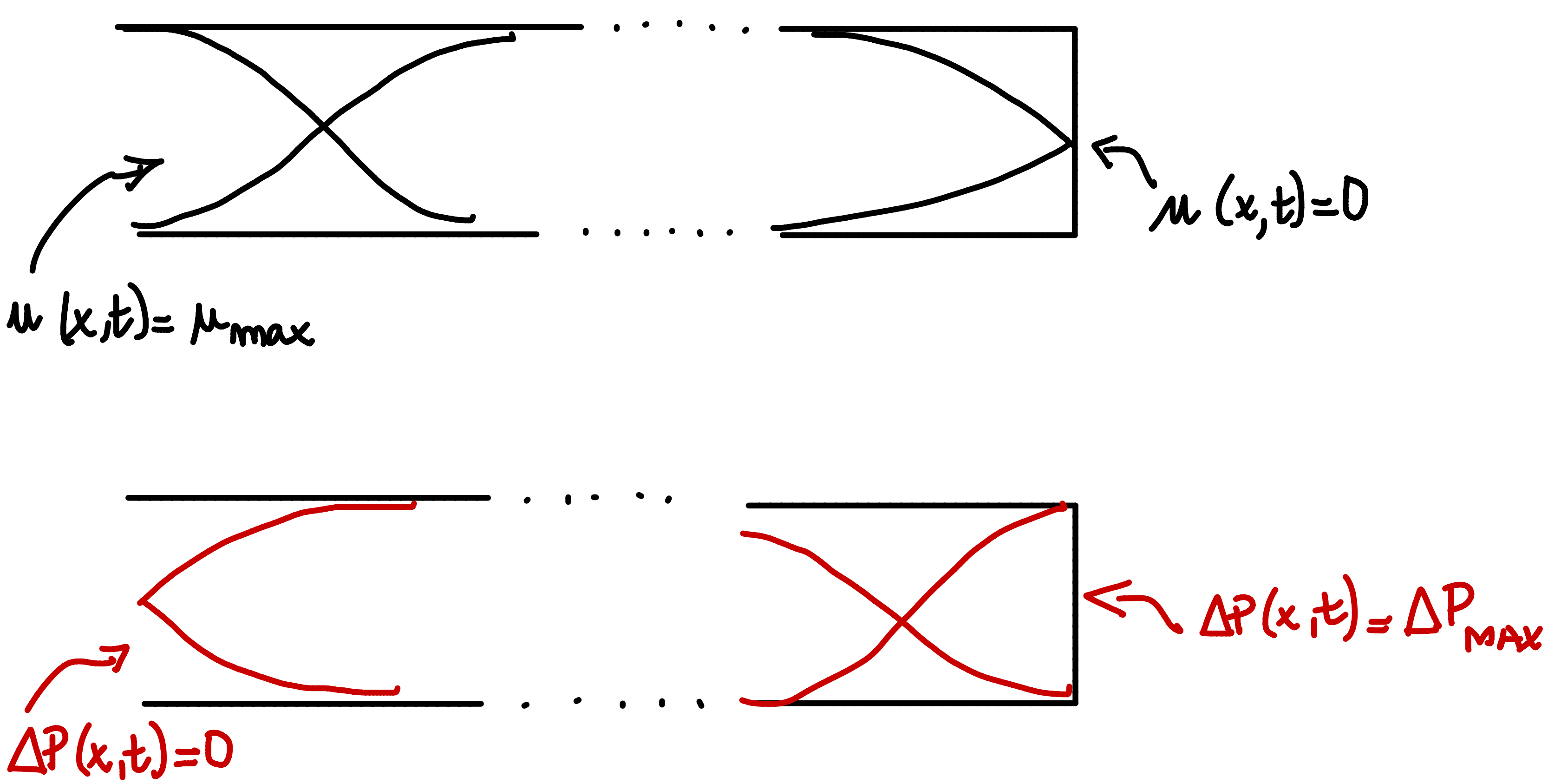
Ondas estacionárias em tubos

Condições de Contorno:

Extremidades fechadas, o deslocamento é nulo

Extremidades abertas - a variação de pressão é nula (igual a pressão externa)

Tubo aberto | Tubo Fechado

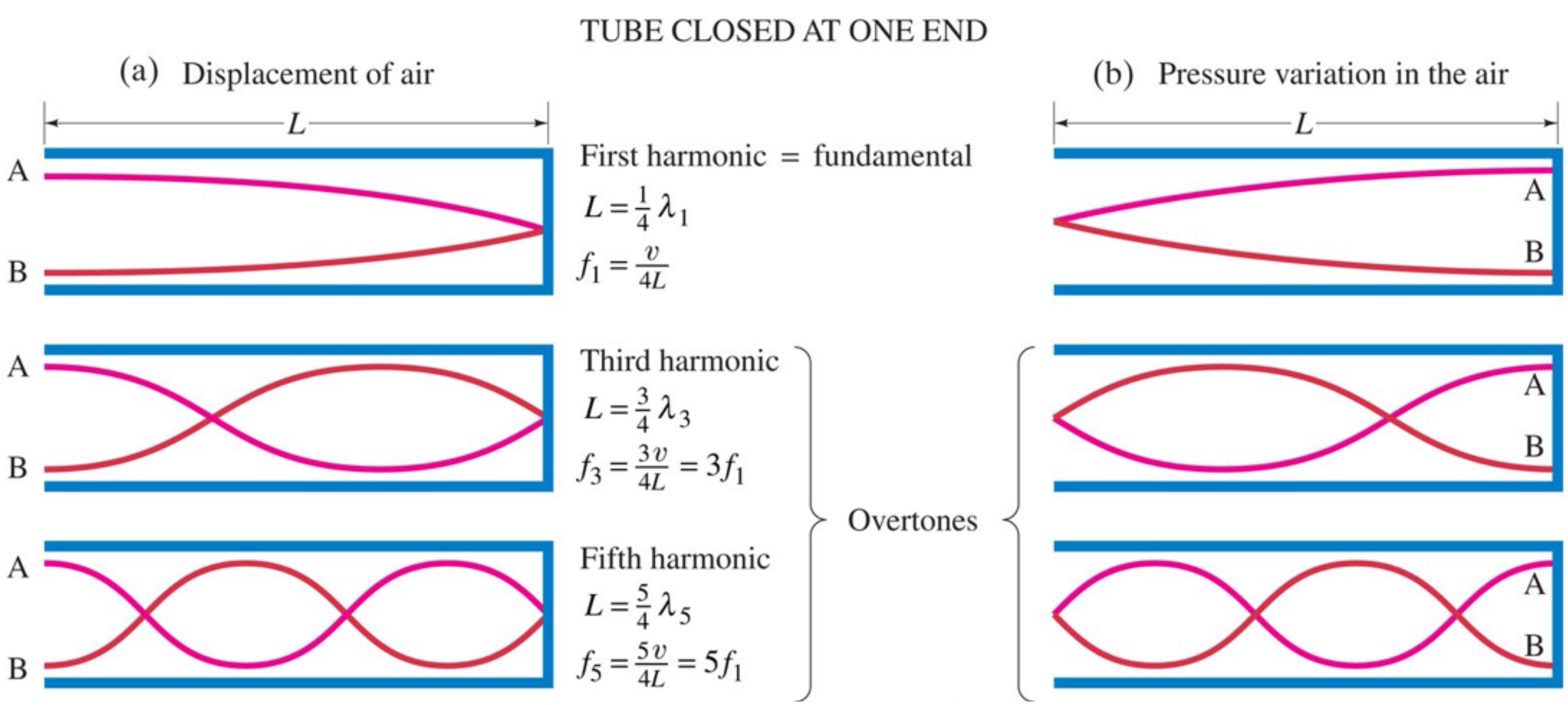


Tubo com uma extremidade fechada

Somente alguns modos de oscilação são compatíveis com as condições de contorno:

$$\lambda_n = \frac{4L}{n} \Rightarrow f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{4L} \qquad n=1,3,5\cdots$$

$$\boxed{\text{apenas harmônicos ímpares!}}$$



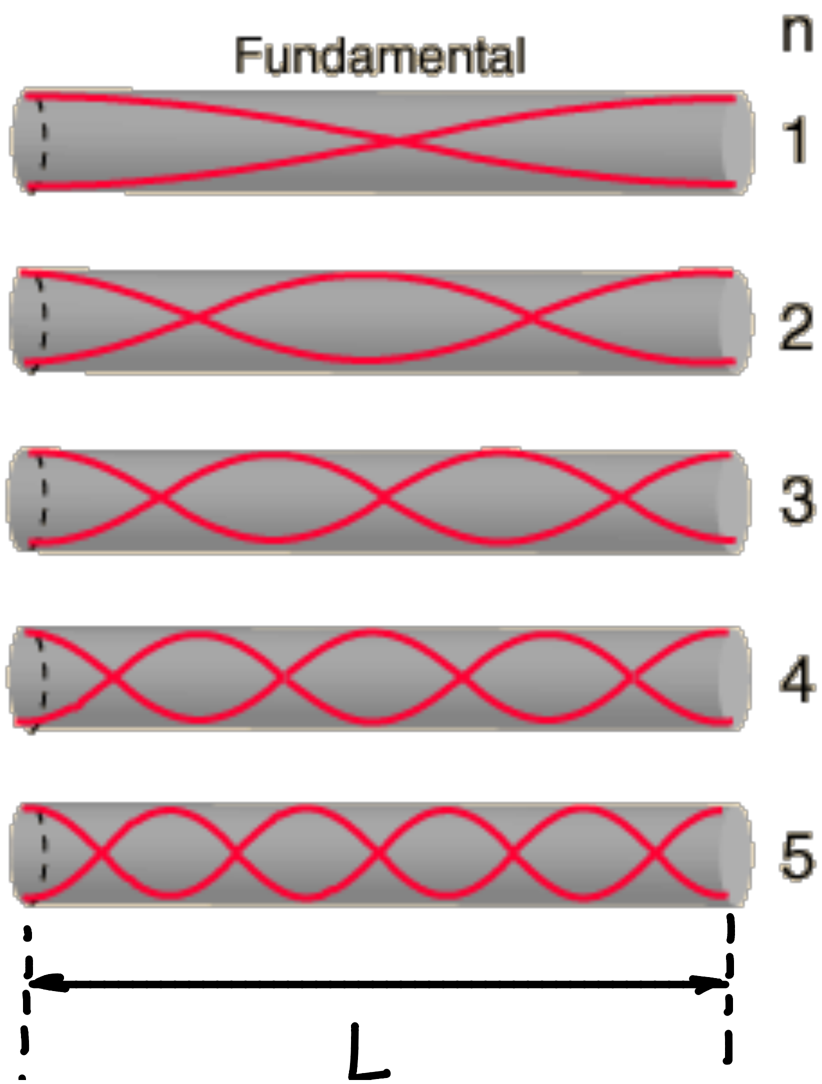
$$f_1 = \frac{1}{4L}$$

$$f_3 = \frac{3}{4L}$$

$$f_5 = \frac{5}{4L}$$

Tubo de comprimento L

Tubo com extremidades abertas



$$\lambda_1 = 2L \qquad f_1 = \frac{v}{2L}$$

$$\lambda_2 = L \qquad f_2 = \frac{v}{L}$$

$$\lambda_3 = \frac{2L}{3} \qquad f_3 = \frac{3v}{2L}$$

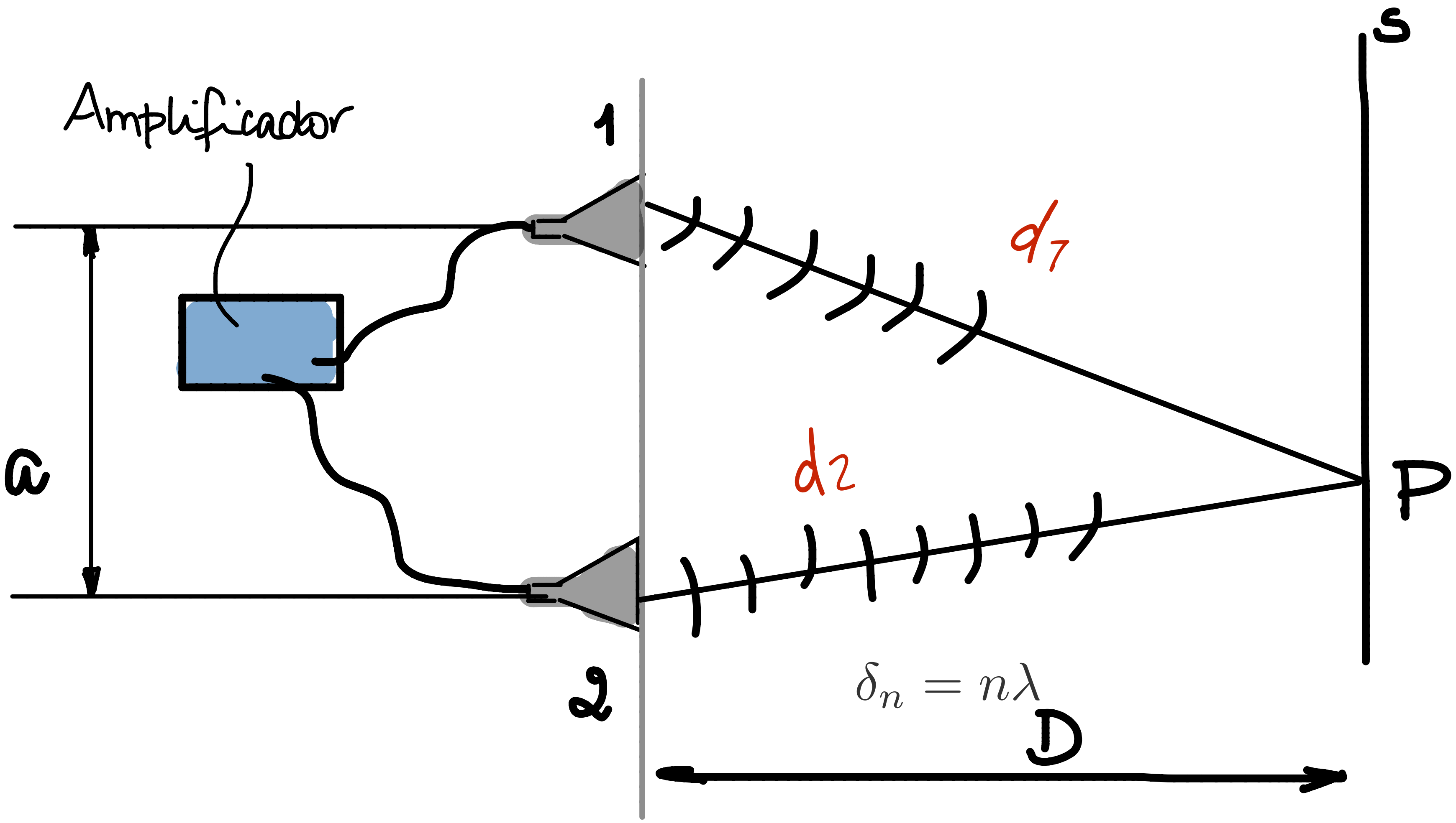
$$\lambda_4 = \frac{L}{2} \qquad f_4 = \frac{2v}{L}$$

$$\lambda_5 = \frac{2L}{5} \qquad f_5 = \frac{5v}{2L}$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$ n=1,2,3,4,5$\cdots$

$$f_n = \frac{nv}{2L}$$

Interferência de Ondas Sonoras



Diferença de caminho entre as ondas no ponto P: $\delta = |d_2 - d_1|$

$$\delta = |d_2 - d_1|$$

$\delta_n = n\lambda$ interferência construtiva (crista com crista)

$\delta_n = (2n+1)\dfrac{\lambda}{2}$ interferência destrutiva (crista com vale)