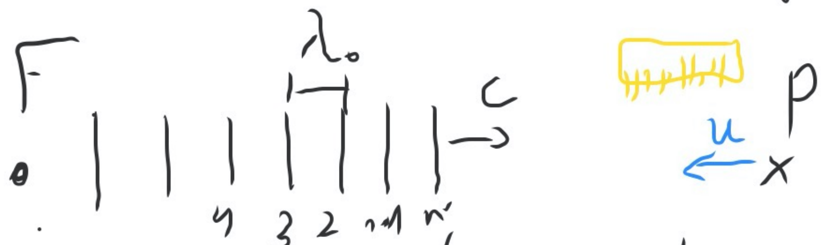
Você está em repouso em uma plataforma de uma estação de trem. Um trem se aproxima da plataforma apitando. Enquanto o trem passa por você, o tom do apito

1 – aumenta.
2 – diminui.
3 – continua o mesmo.
4 – depende da amplitude do som.

Efeito Doppler

Fonte em repouso, observador em movimento



comprimento da onda no meio

$\lambda_0 \rightarrow$ compr. de onda no ref. da fonte $\rightarrow$ $\lambda_p = \lambda_0$

$\nu_0 \rightarrow$ freq. da onda na fonte

$c \rightarrow$ vel. de propagação $\rightarrow$ $V_p = c + u$ (Rel. de Galileu)

$\lambda_0 = c/\nu_0$

Ref do observador

Freq.: $\nu_p = V_p/\lambda_p = \dfrac{c+u}{\lambda_p} = \dfrac{c+u}{c}\nu_0$

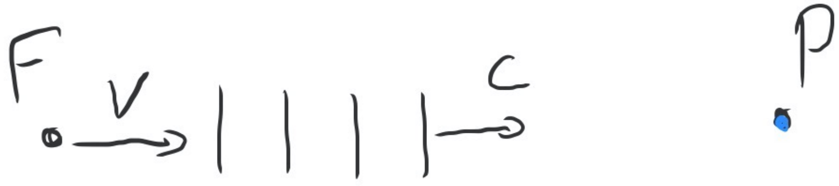
$$\nu_p = \nu_0\left(1 + \frac{u}{c}\right)$$

$u > 0 \rightarrow$ freq. aumenta

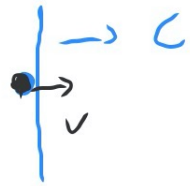
$u < 0$ freq. diminui

$u < -c$

Fonte em deslocamento, observador em repouso



$t = 0$



vel. da onda no meio $= c$

$\lambda_0 \rightarrow$ compr. de onda de F em repouso $\longrightarrow$

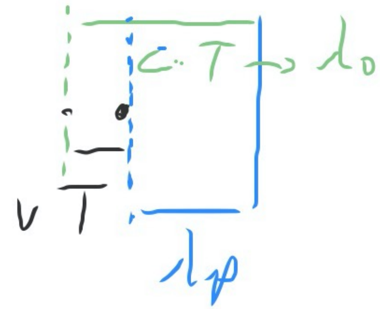
$\nu_0 \Rightarrow$ emissão da onda

$c_p = c$

$\lambda_p \rightarrow ?$

$\nu_p \rightarrow ?$

$t = T$



$c_p = c$

$\lambda_p = \left(1 - \frac{v}{c}\right) \lambda_0$

$\nu_p = \frac{c}{\lambda} = \nu_0 / \left(1 - v/c\right)$

$v > 0 \rightarrow$ fonte se aproxima do observador!

$\lambda_p = cT - vT = (c - v) \cdot T$

$= (c - v) \frac{\lambda_0}{c}$

Fonte parada; obs. em movimento $\nu_p = \nu_0\left(1+\frac{u}{c}\right)$ $u>0$ aproximação

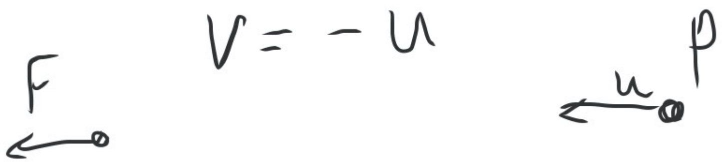
Fonte se move; obs. parado: $\nu_p = \nu_0 \Big/ \left(1-\frac{v}{c}\right)$ $v>0$ aproximação

Ambos se movem?

$$\nu_m = \frac{\nu_0}{1-v/c}$$

$$\nu_p = \nu_m\left(1+\frac{u}{c}\right) = \nu_0 \frac{\left(1+\frac{u}{c}\right)}{\left(1-\frac{v}{c}\right)}$$

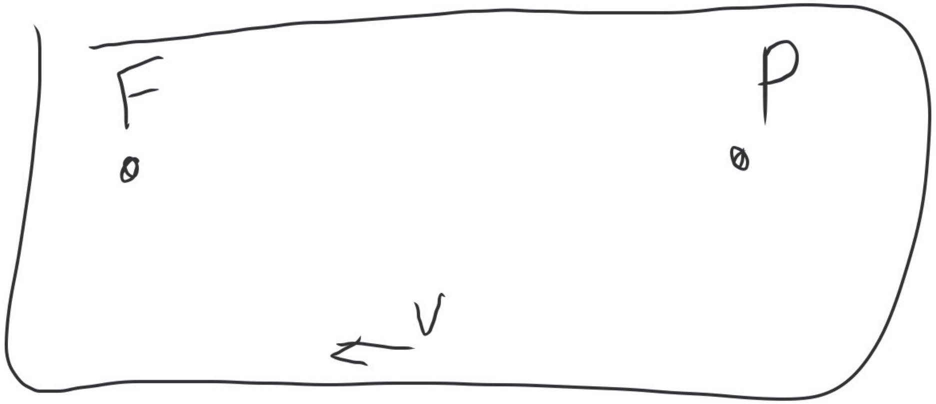
$V = -U$



$\nu_p > \nu_0$ (1)

$\nu_p = \nu_0$ (2)

$\nu_p < \nu_0$ (3)

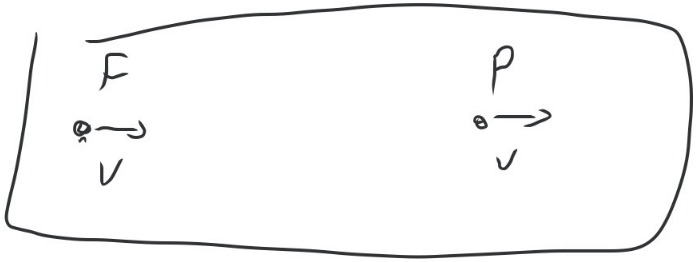


$\nu_p \times \nu_0 \rightarrow$ muda?

(1) sim

(2) não

Situação análoga?



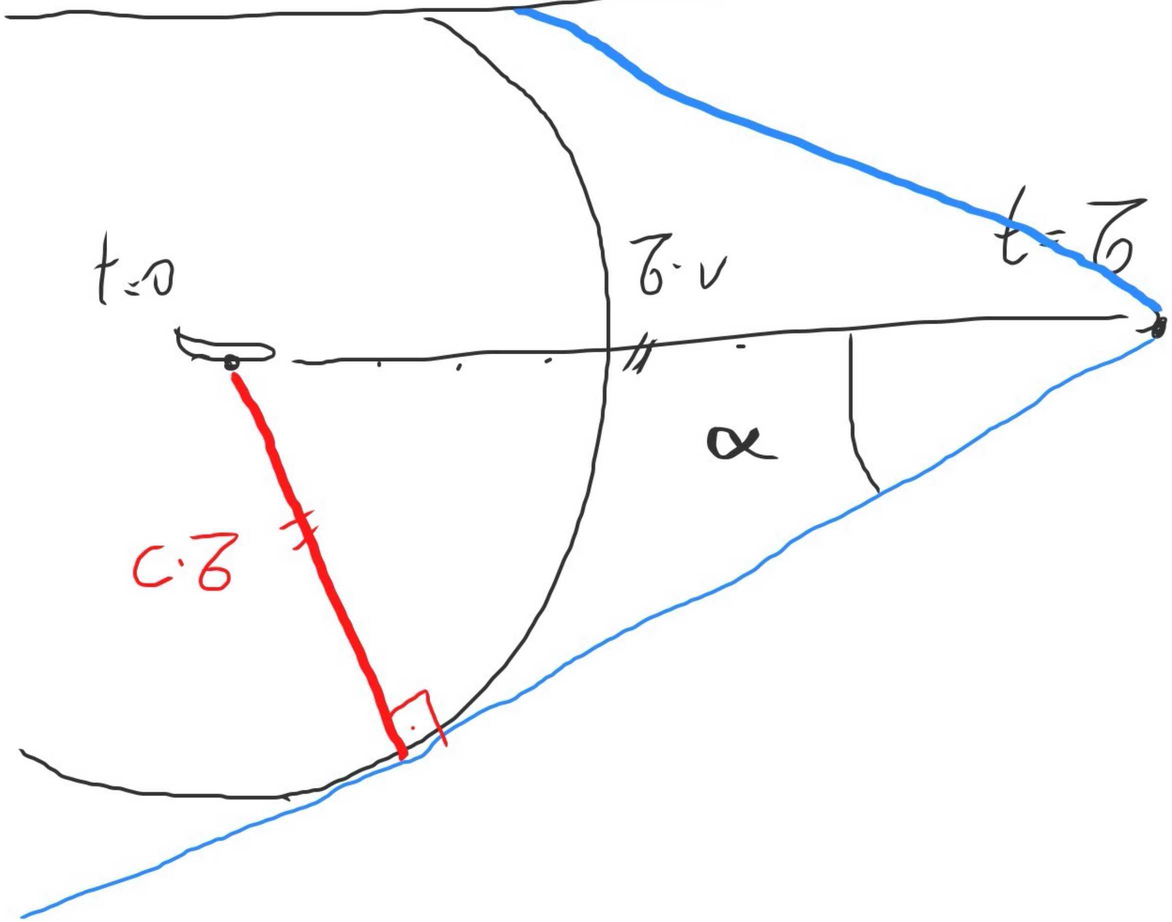
$v > c$?

$$\nu_m = \nu_0 \frac{1}{(1 - v/c)}$$

$v \geq c$

$v = c$?

Cone de Mach



$v > c$

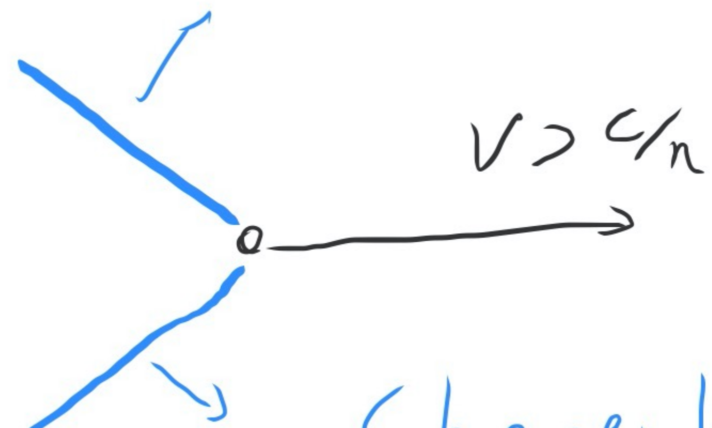
$$\operatorname{sen}\alpha = \frac{\tau \cdot c}{\tau \cdot v}$$

$$\operatorname{sen}\alpha = \frac{c}{V} \ ; \ v > c$$

Luz: Doppler relativístico

vel. da onda constante (se vácuo)

Meio material

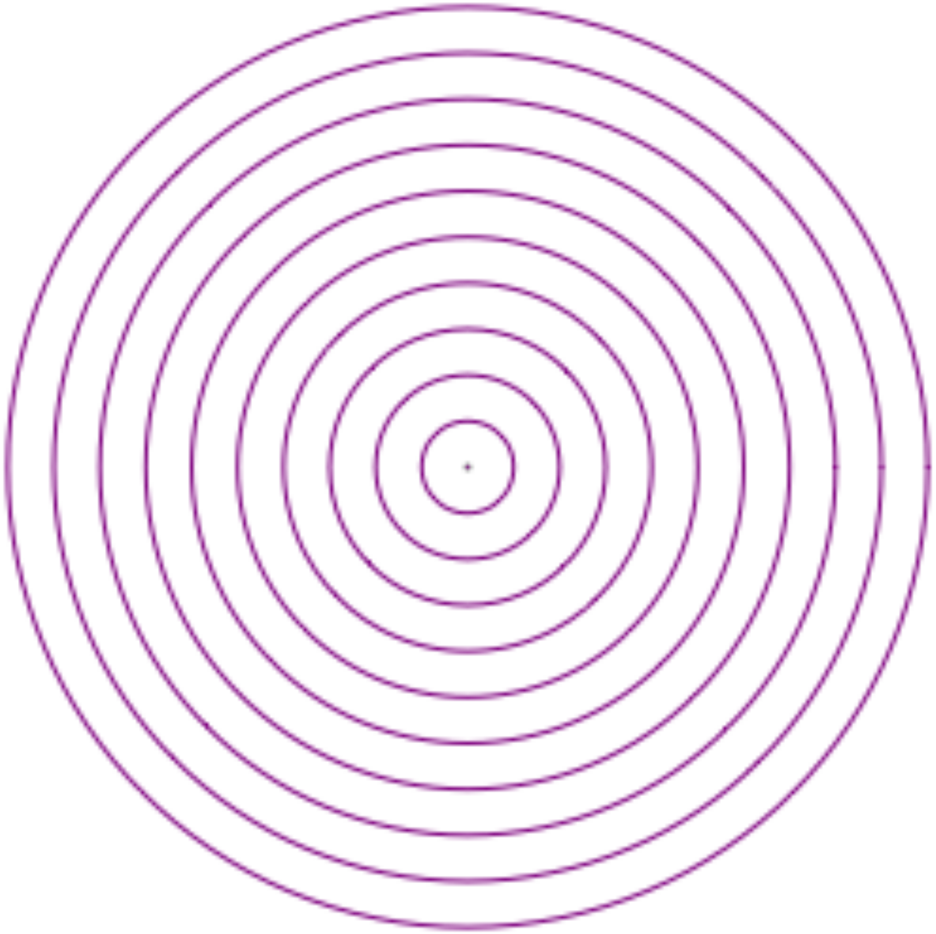


$n \rightarrow$ índice de refração

Cherenkov

Onda esférica

$$u(r,t) = U_0 \frac{R_0}{r} \cos(kr - \omega t + \delta)$$




LINE1
0:50:14

Ondas Sonoras

Posição de uma lâmina de moléculas

→ deslocamento *u*

$$x \rightarrow x + u(x,t)$$

Pressão local

→ variação de pressão *p*

$$P \rightarrow P_0 + p(x,t)$$

Densidade local

→ variação de densidade δ

$$\rho \rightarrow \rho_0 + \delta(x,t)$$

Equações de onda

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

$$v^2 = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_0$$

$$\frac{\partial^2 \delta}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \delta}{\partial x^2}$$

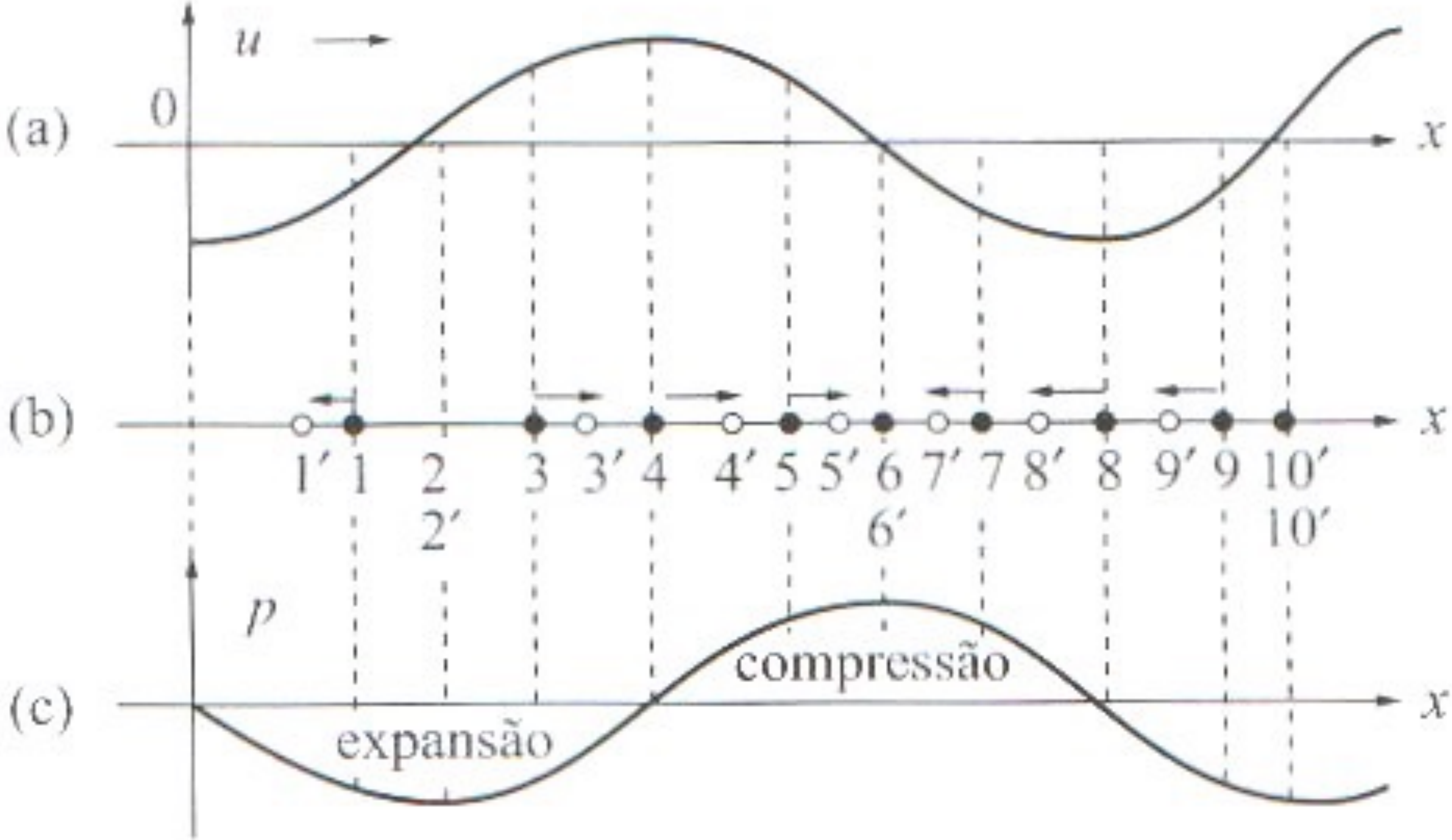
$$p = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_0 \delta$$

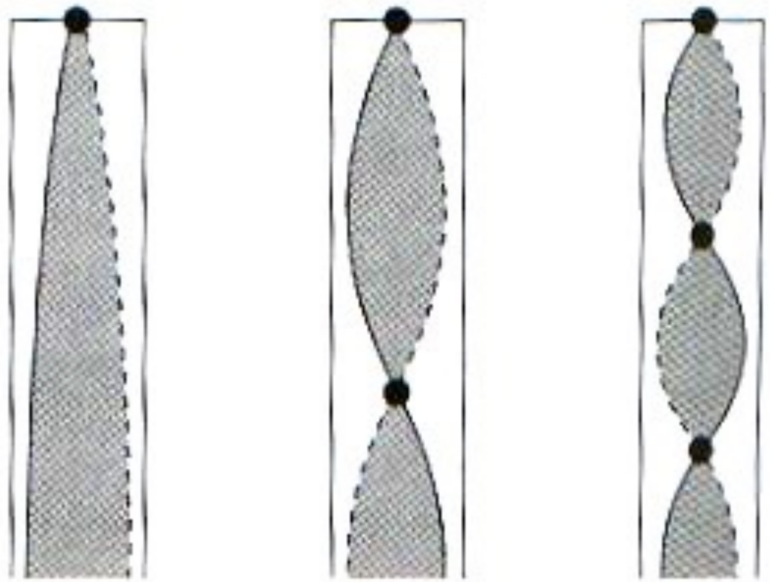
$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$$

$$\delta = -\rho_0 \frac{\partial u(x,t)}{\partial x}$$

$$p = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_0 \delta$$

$$\delta = -\rho_0 \frac{\partial u(x,t)}{\partial x}$$

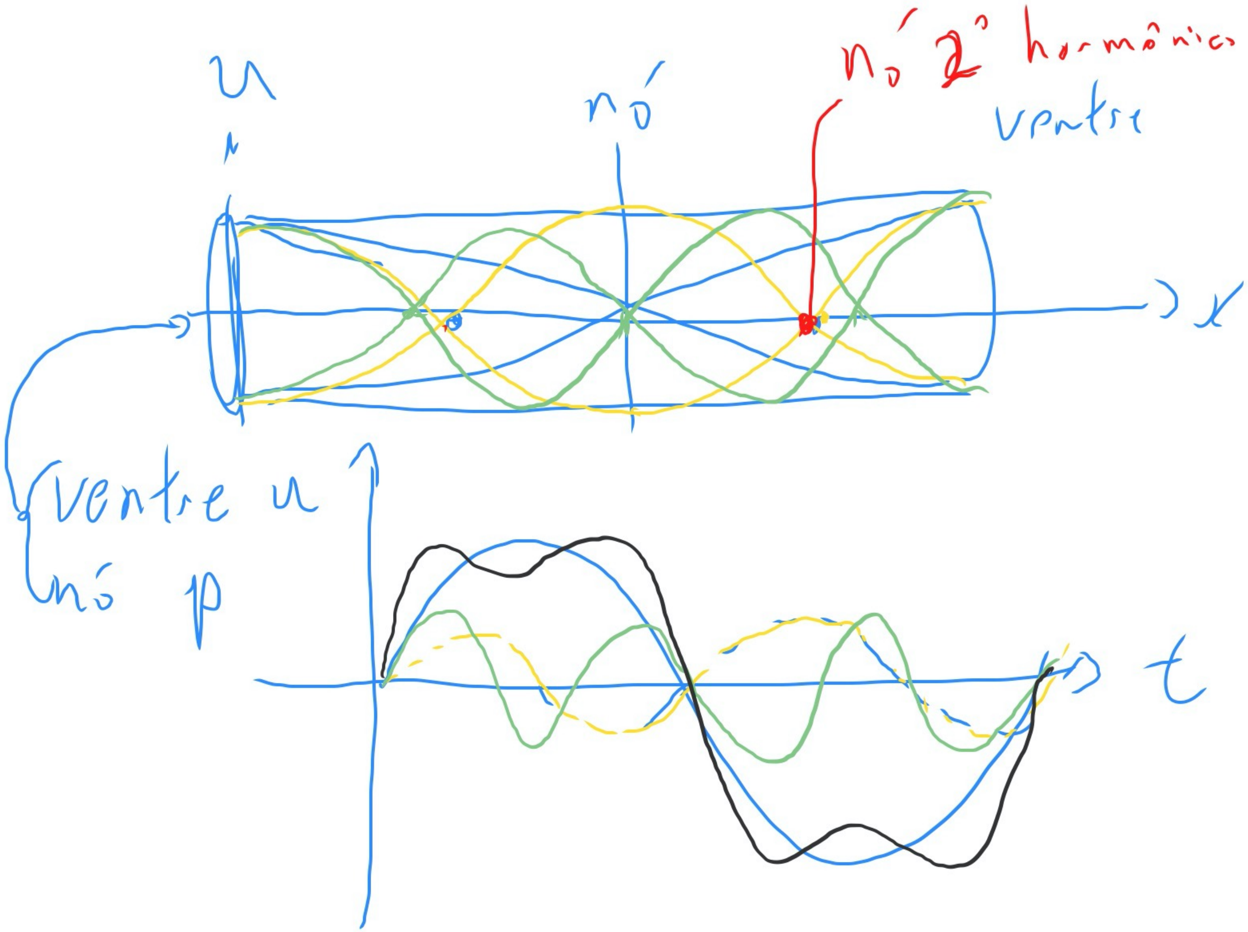


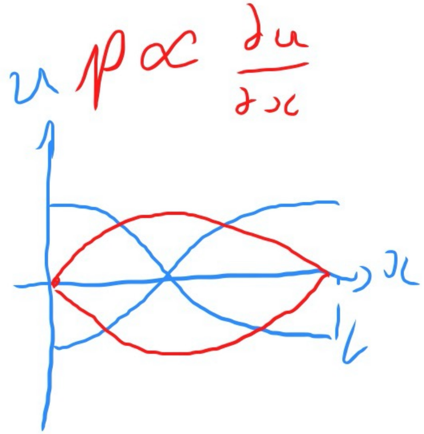


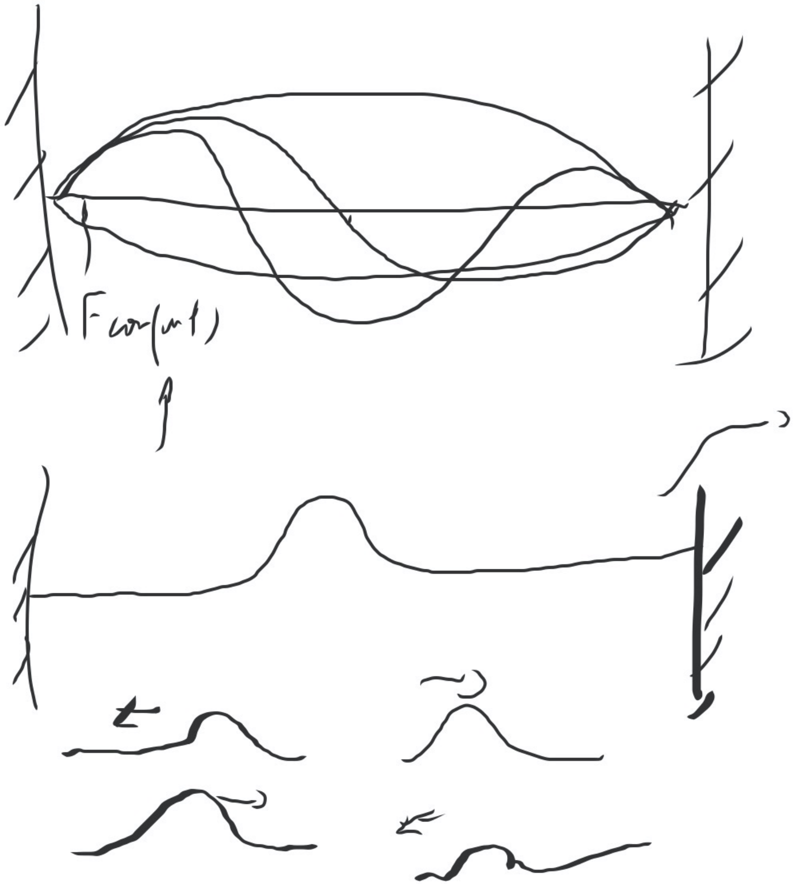
$l = \frac{\lambda'_1}{4}$ $\quad$ $l = \frac{3}{4}\lambda'_2$ $\quad$ $l = \frac{5}{4}\lambda'_3$

$\nu'_1 = \frac{v}{4l}$ $\quad$ $\nu'_2 = 3\nu'_1$ $\quad$ $\nu'_3 = 5\nu'_1$

fechados numa extremidade

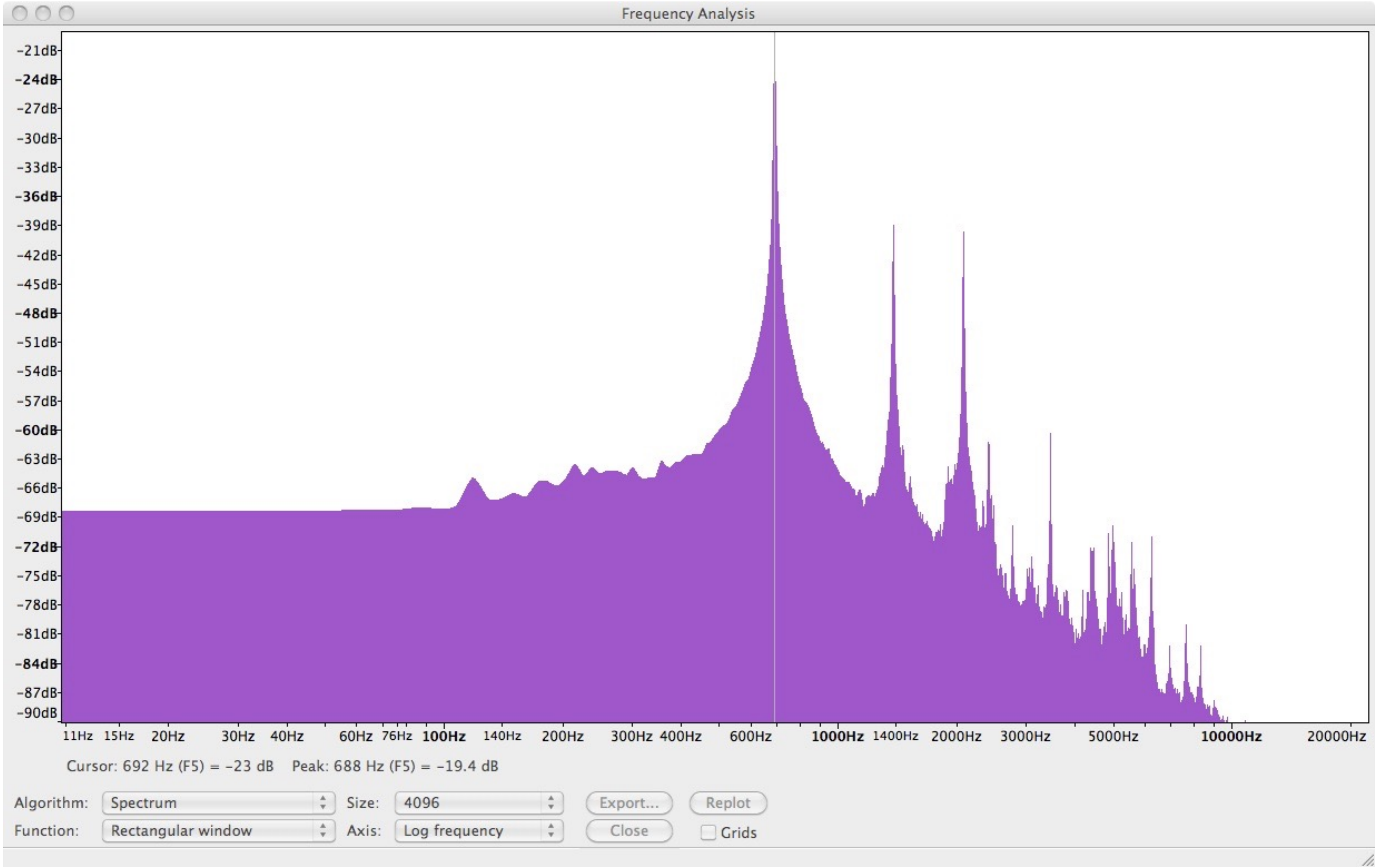

u
nó
nó 2° harmônico
ventre
x
ventre u
nó p
t


u
p ∝ ∂u/∂x
x
L

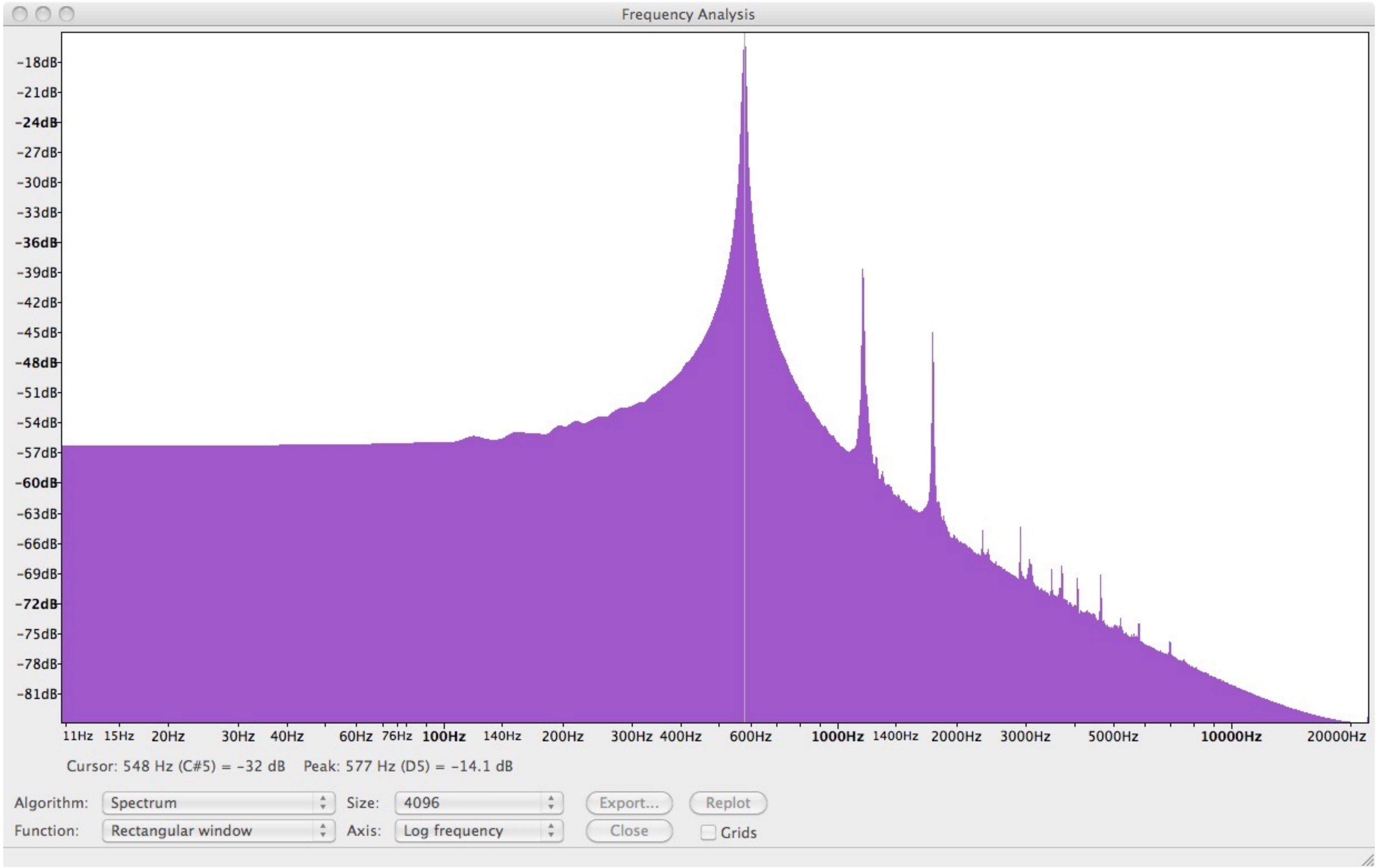


$$\sum b_n \sin(k_n x) \cos(\omega_n t + \varphi_n)$$

[redacted]



Frequency Analysis
-21dB
-24dB
-27dB
-30dB
-33dB
-36dB
-39dB
-42dB
-45dB
-48dB
-51dB
-54dB
-57dB
-60dB
-63dB
-66dB
-69dB
-72dB
-75dB
-78dB
-81dB
-84dB
-87dB
-90dB
11Hz 15Hz 20Hz 30Hz 40Hz 60Hz 76Hz 100Hz 140Hz 200Hz 300Hz 400Hz 600Hz 1000Hz 1400Hz 2000Hz 3000Hz 5000Hz 10000Hz 20000Hz
Cursor: 692 Hz (F5) = -23 dB Peak: 688 Hz (F5) = -19.4 dB
Algorithm: Spectrum
Size: 4096
Export...
Replot
Function: Rectangular window
Axis: Log frequency
Close
Grids


Frequency Analysis
-18dB
-21dB
-24dB
-27dB
-30dB
-33dB
-36dB
-39dB
-42dB
-45dB
-48dB
-51dB
-54dB
-57dB
-60dB
-63dB
-66dB
-69dB
-72dB
-75dB
-78dB
-81dB
11Hz 15Hz 20Hz 30Hz 40Hz 60Hz 76Hz 100Hz 140Hz 200Hz 300Hz 400Hz 600Hz 1000Hz 1400Hz 2000Hz 3000Hz 5000Hz 10000Hz 20000Hz
Cursor: 548 Hz (C#5) = -32 dB Peak: 577 Hz (D5) = -14.1 dB
Algorithm: Spectrum
Size: 4096
Export...
Replot
Function: Rectangular window
Axis: Log frequency
Close
Grids