



Ondas Estacionárias Acústicas e Instrumentos Musicais



Ondas Estacionárias Acústicas

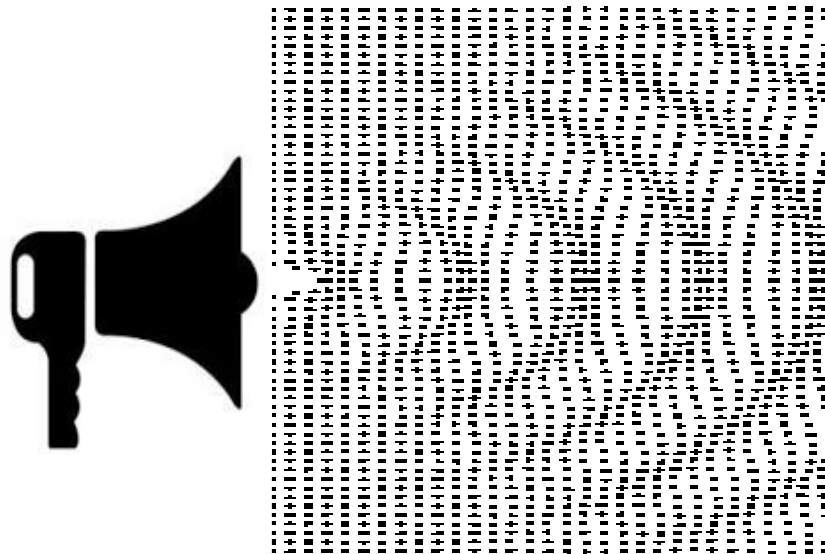
Em uma longa coluna de ar estreita, como um cano/tubo, é possível formar uma onda estacionária longitudinal, análoga a onda estacionária estudada nas últimas aulas.



Ondas Estacionárias Acústicas

Em uma longa coluna de ar estreita, como um cano/tubo, é possível formar uma onda estacionária longitudinal, análoga a onda estacionária estudada nas últimas aulas.

Inicialmente, lembremos que as ondas sonoras são ondas longitudinais.

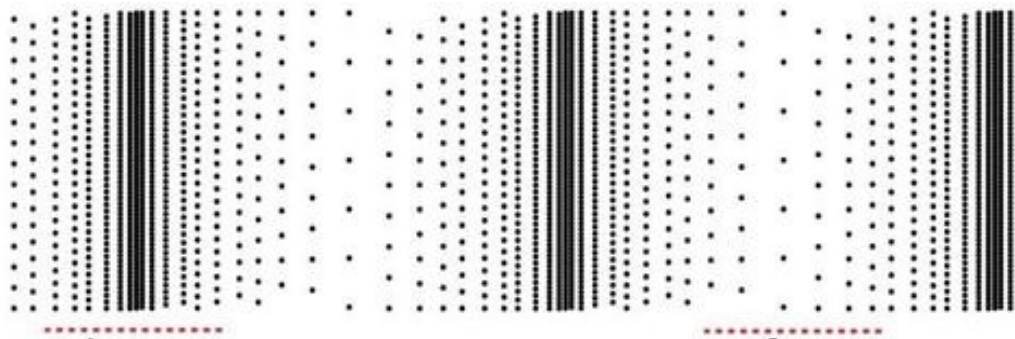


Ondas de pressão



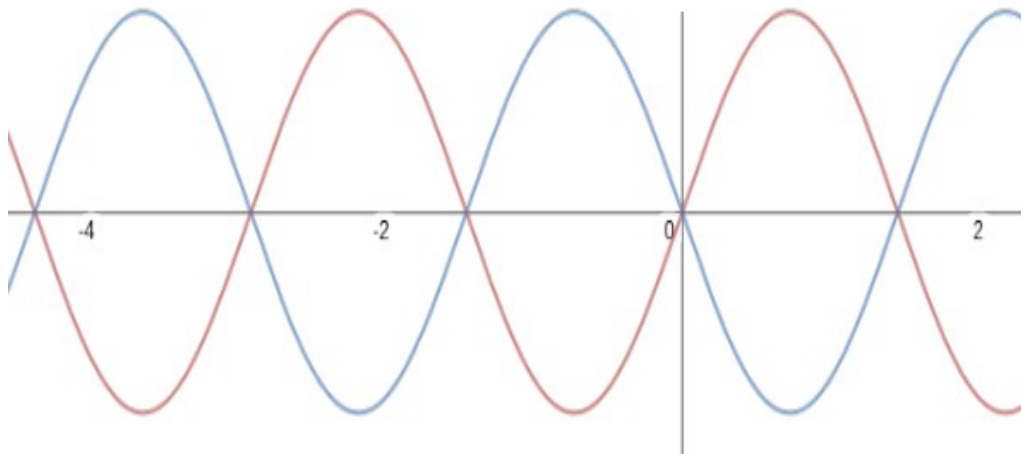
Ondas Estacionárias Acústicas

Representação:



zona de
compressão

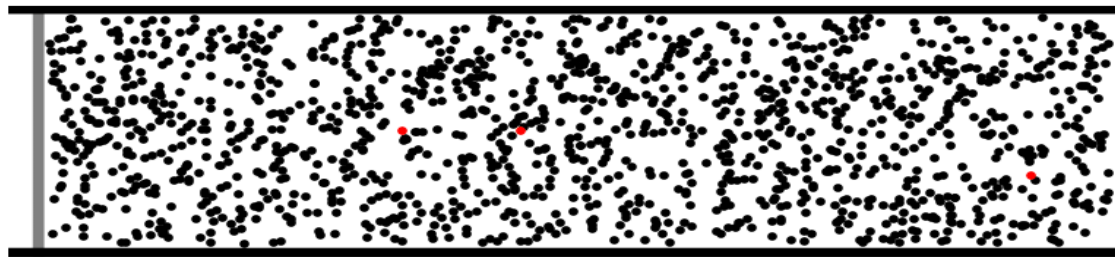
zona de
rarefação





Ondas Estacionárias Acústicas

Um caso particular de onda estacionária: um tubo fechado-fechado com uma das extremidades vibrante



©2012, Dan Russell

*** as partículas das extremidades não se movem com relação as paredes.**

Gráfico Desloc. Longitudinal vs t

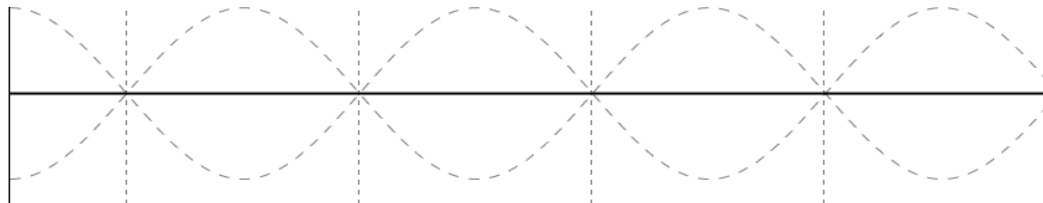
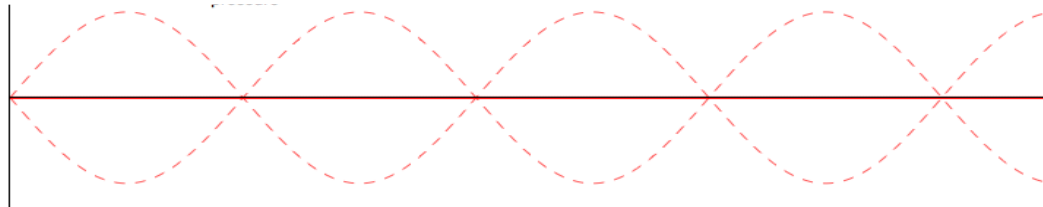


Gráfico Pressão vs t



➡ O nó de pressão coincide com o anti-nó de deslocamento!

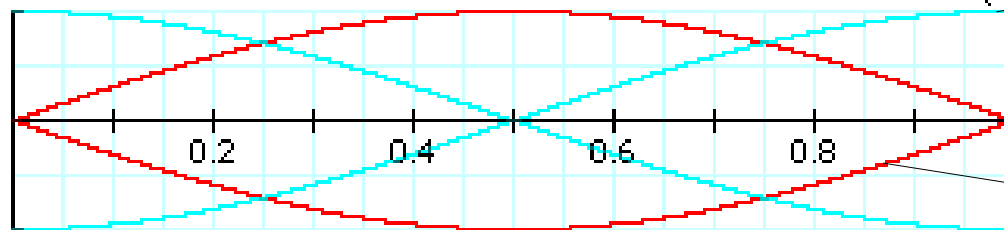


Ondas Estacionárias Acústicas

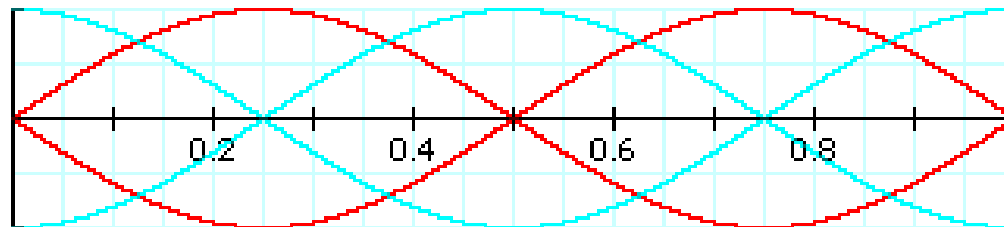
Ondas Estacionárias em tubos Fechado-Fechado



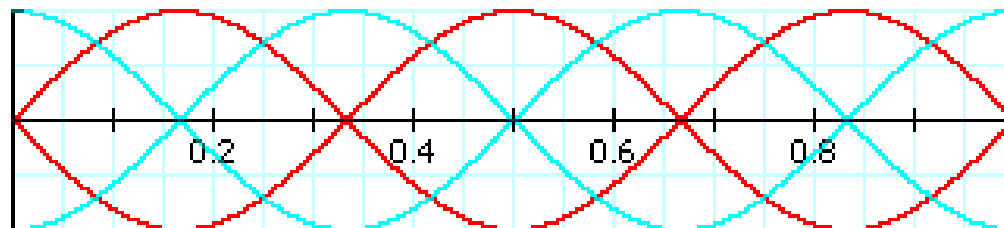
Modo Fundamental:



1º harmônico:



2º harmônico:



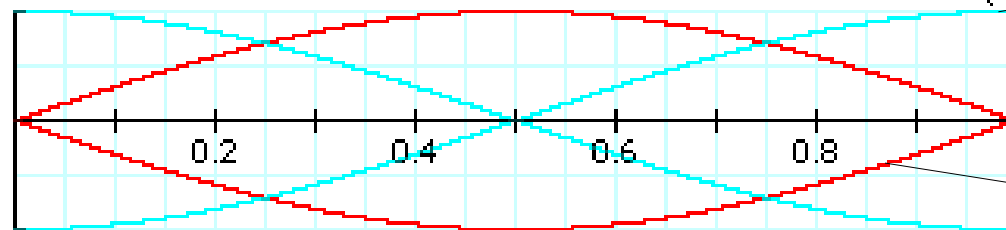


Ondas Estacionárias Acústicas

Ondas Estacionárias em tubos Fechado-Fechado



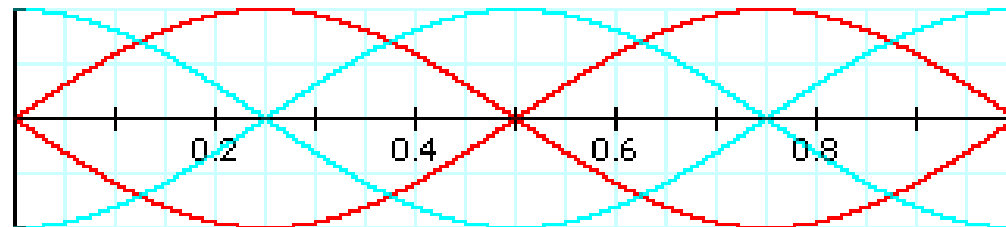
Modo Fundamental:



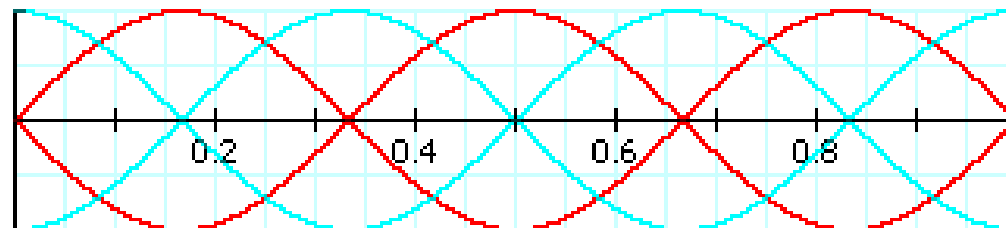
Pressão

Deslocamento

1º harmônico:



2º harmônico:





Ondas Estacionárias Acústicas

Ondas Estacionárias em tubos Fechado-Fechado

Caso análogo ao dos modos em cordas com extremidades fixas, onde, de acordo com as condições de contorno

$$Y(x = L, t) = 2A \sin(kL) \cos(\omega t) = 0$$

$$2A \sin(kL) = 0$$

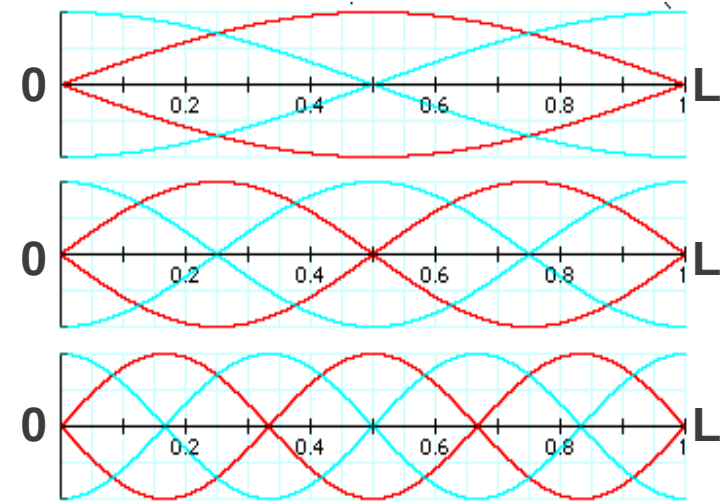
$$kL = m\pi; \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

$$\frac{2\pi}{\lambda_m} L = m\pi$$

$$\rightarrow \lambda_m = \frac{2L}{m}$$

$$v = \lambda f$$

$$f_m = \frac{v}{2L} m; \quad m = 1, 2, 3, \dots$$



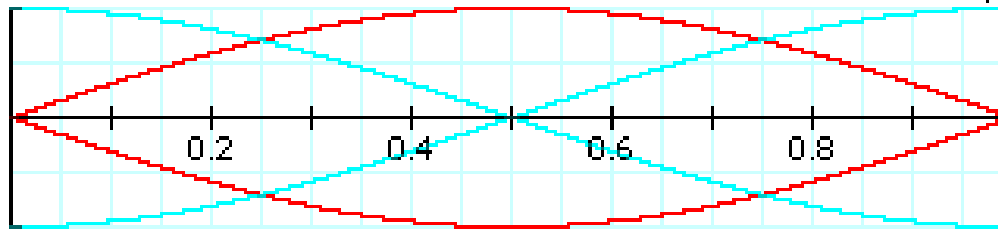


Ondas Estacionárias Acústicas

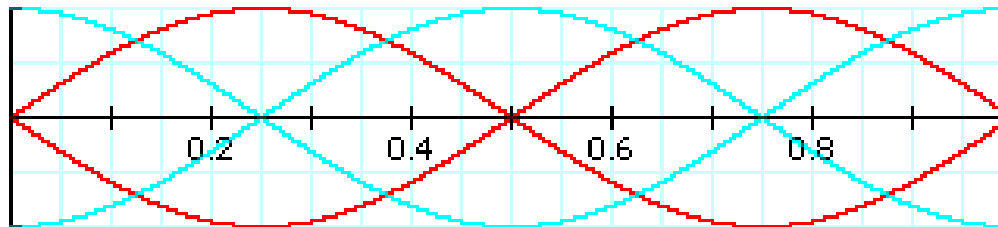
Ondas Estacionárias em tubos Aberto-Aberto



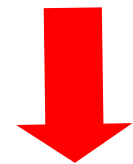
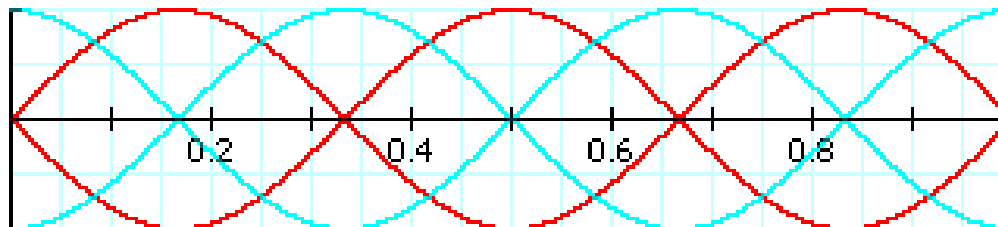
Modo Fundamental:



1º harmônico:



2º harmônico:



$$f_m = \frac{v}{2L}m$$
$$m = 1, 2, 3, \dots$$

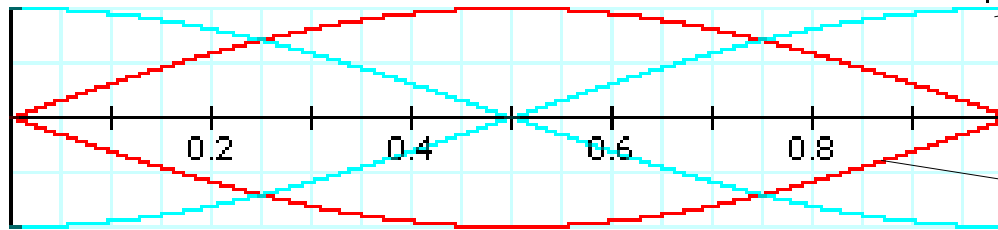


Ondas Estacionárias Acústicas

Ondas Estacionárias em tubos Aberto-Aberto



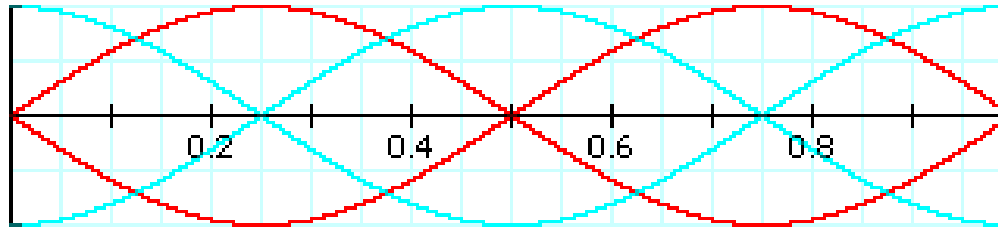
Modo Fundamental:



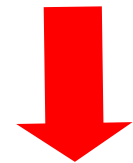
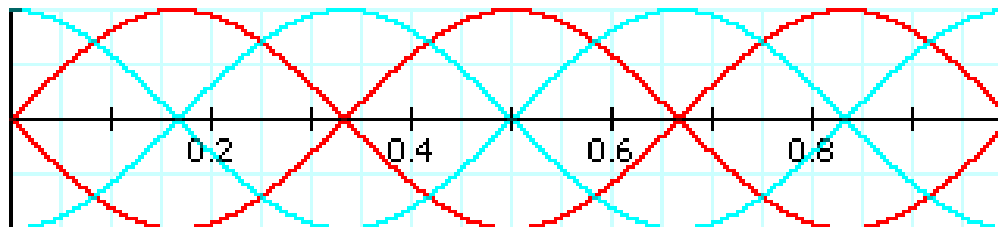
Deslocamento

Pressão

1º harmônico:



2º harmônico:



$$f_m = \frac{v}{2L}m$$
$$m = 1, 2, 3, \dots$$



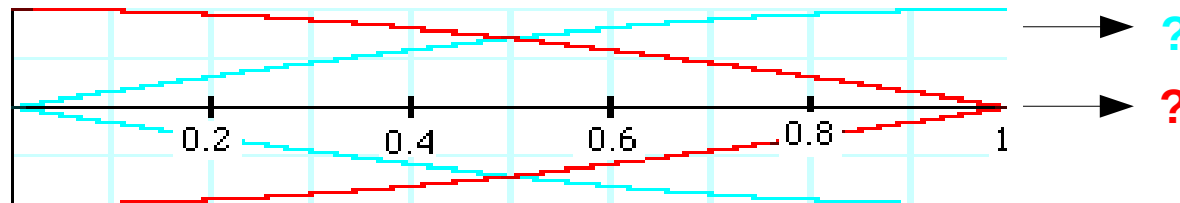
Ondas Estacionárias Acústicas

Ondas Estacionárias em tubos Aberto-Fechado



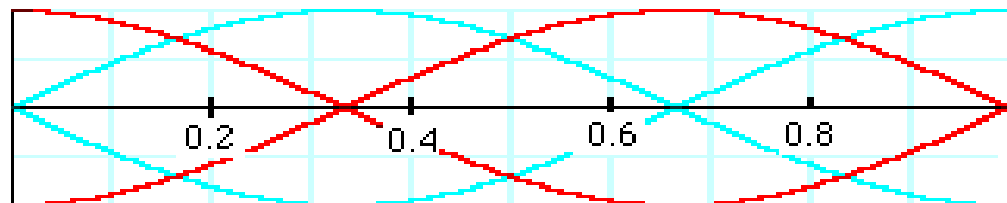
* **extremidade aberta**

Modo Fundamental:



(even harmonics
are absent)

1° harmônico:





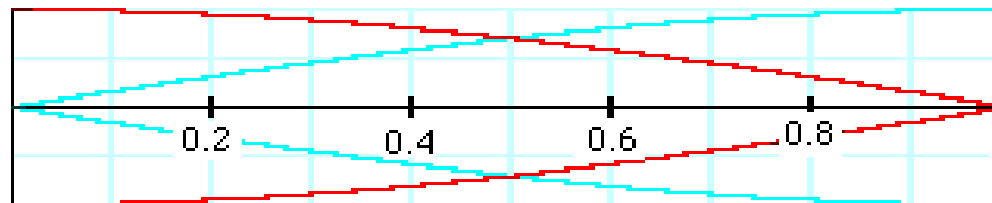
Ondas Estacionárias Acústicas

Ondas Estacionárias em tubos Aberto-Fechado



* extremidade aberta

Modo Fundamental:

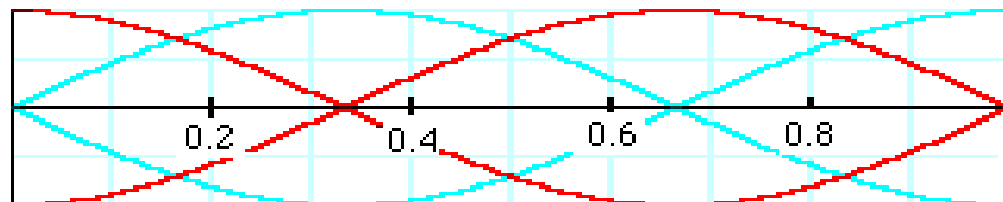


Deslocamento

Pressão

(even harmonics
are absent)

1° harmônico:





Ondas Estacionárias Acústicas

Ondas Estacionárias em tubos Aberto-Fechado

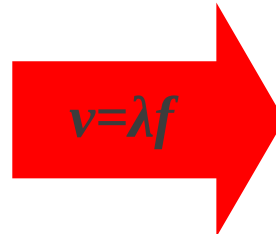
$$Y(x = L, t) = 2A \sin(kL) \cos(\omega t) = 2A$$

$$\sin(kL) = 1$$

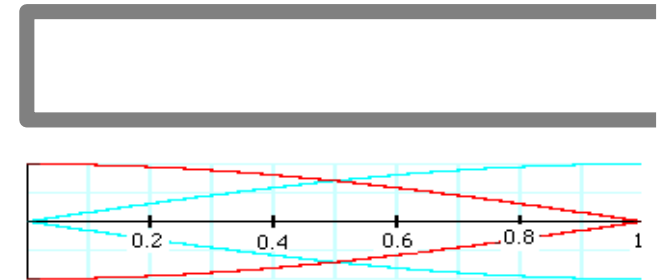
$$kL = m \frac{\pi}{2}; \quad m = 1, 3, 5, \dots$$

$$\frac{2\pi}{\lambda_m} L = m \frac{\pi}{2}$$

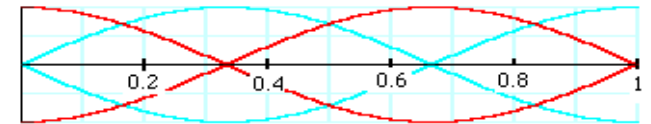
$$\rightarrow \lambda_m = \frac{4L}{m}$$



$$f_m = \frac{v}{4L} m$$
$$m = 1, 3, 5, \dots$$



(even harmonics
are absent)





Instrumentos Musicais

As notas musicais nestes nos **instrumentos de cordas** são as frequências fundamentais.

$$f_1 = \frac{v}{2L} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T_c}{\mu}}$$

Qto $> T_c$ + agudo

Qto $> \mu$ + grave



Instrumentos Musicais

As notas musicais nos **instrumentos de sopro** geralmente são as frequências fundamentais

Nestes instrumentos, os músicos alteram as notas musicais emitidas mudando o “tamanho dos instrumentos”, abrindo certos orifícios e/ou fechando válvulas.



Instrumentos Musicais

As notas musicais nos instrumentos de sopro geralmente são as frequências fundamentais

Nestes instrumentos, os músicos alteram as notas musicais emitidas mudando o “tamanho dos instrumentos”, abrindo certos orifícios e/ou fechando válvulas.

Obs: a frequência fundamental depende da velocidade do som dentro do instrumento, que depende da temperatura. Os músicos precisam aquecer os instrumentos antes de afiná-los.



Instrumentos Musicais

Problema 1:

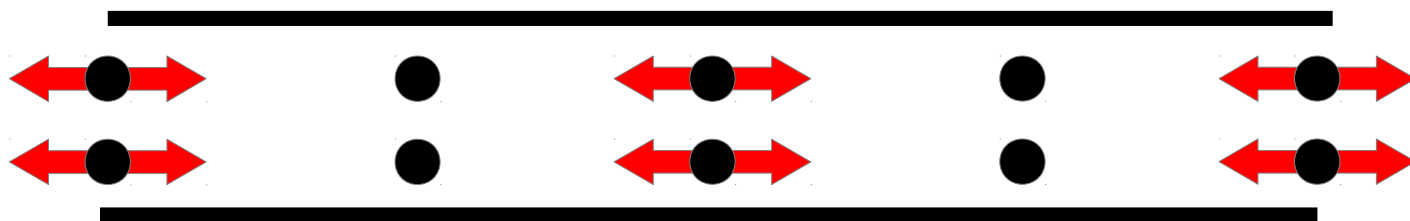
Quais são os três maiores comprimentos de onda para ondas sonoras estacionárias em um tubo de 121 cm de comprimento (a) aberto nas duas extremidades e (b) aberto em uma extremidade e fechado na outra?



Instrumentos Musicais

Problema 2:

A figura representa uma onda sonora estacionária em um tubo de 80 cm de comprimento. O tubo está cheio com um gás desconhecido. Qual a velocidade do som no gás?





Instrumentos Musicais

Problema 3:

A frequência fundamental de um tubo aberto-aberto é 1500Hz quando ele está cheio de Hélio a 0°C. Qual será a frequência quando o tubo estiver cheio de ar a 0°C? Assuma $v_{\text{som He}} = 900\text{m/s}$ e $v_{\text{som ar}} = 331\text{m/s}$.