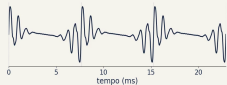


Perguntas dos alunos

A nossa voz, o calor e a velocidade do som

Com hélio



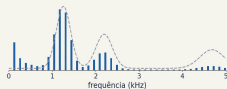
nota: 131 Hz, igual

período: 7,6 ms, igual

formantes $\times 1,8$

muda a forma da onda,

não o período



PERGUNTA

A nossa voz numa gravação

Porque é que a nossa voz, numa gravação, soa diferente da voz que ouvimos ao falar?

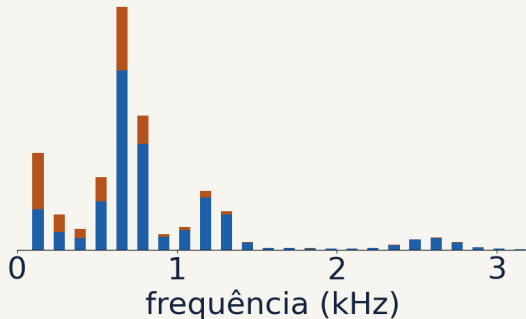
RESPOSTA

Dois caminhos até ao ouvido

- Pelo ar: o que os outros ouvem e o microfone grava.
- Pelos ossos do crânio: só nós.
- Os ossos reforçam os graves.

Azul: ar. Laranja: ossos.

Mesma nota, outro timbre.



RESPOSTA

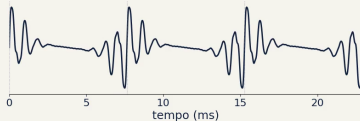
Uma experiência

- Tapar os ouvidos e falar: a voz parece mais forte e mais grave.
- O som deixa de escapar pelo canal auditivo e chega sobretudo pelos ossos.

Vídeo:

voz_helio_e_dentro_fora.mp4

Com hélio



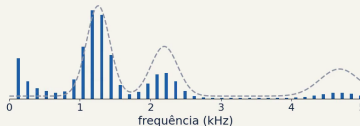
nota: 131 Hz, igual

período: 7,6 ms, igual

formantes $\times 1,8$

muda a forma da onda,

não o período



PERGUNTA

Calor e velocidade do som

Há alguma relação entre a capacidade calorífica de um material e a velocidade do som nesse meio?

RESPOSTA

A razão $\gamma = c_p/c_V$

Num gás, as compressões do som são adiabáticas: $K = \gamma p_0$.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma p_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Gás	γ	M (g mol ⁻¹)	v a 20 °C (m s ⁻¹)
Hélio	5/3	4	1010
Árgon	5/3	40	319
Ar	1,40	29	343

RESPOSTA

O que conta é γ , não c

- Não conta a capacidade calorífica em si, mas a razão $\gamma = c_p/c_V$.
- γ maior: o gás aquece mais ao ser comprimido e resiste mais.
- O efeito é moderado: γ está dentro de uma raiz.
- Em sólidos e líquidos, $\gamma \approx 1$: contam as constantes elásticas.

PERGUNTA

Densidade, temperatura e velocidade

Se o som é mais rápido em meios mais densos, porque é que é mais rápido no ar quente, que é menos denso?

RESPOSTA

A densidade, sozinha, atrasa o som

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad \text{rigidez sobre inércia}$$

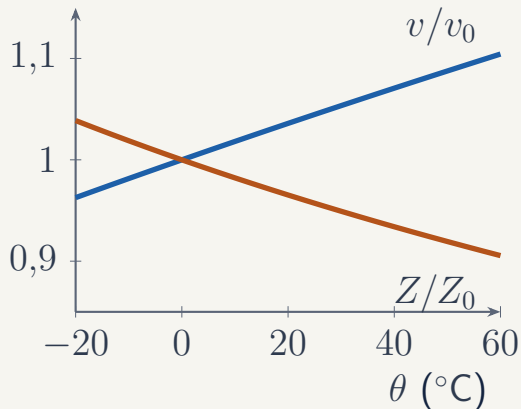
- Na água, o som é mais rápido porque K cresce muito mais do que ρ .
- Água: K 15 000 vezes maior, ρ 800 vezes maior, v 4 vezes maior.
- Não é por Z aumentar: $Z = \rho v$ é uma consequência, não a causa.

RESPOSTA

Ar quente: v sobe, Z desce

À mesma pressão:

- $K = \gamma p_0$ não muda.
- ρ diminui.
- $v = \sqrt{K/\rho}$ aumenta.
- $Z = \sqrt{K\rho}$ diminui.



RESPOSTA

Os números

Ar	ρ (kg m ⁻³)	v (m s ⁻¹)	$Z = \rho v$ (kg m ⁻² s ⁻¹)
0 °C	1,29	331	430
40 °C	1,13	354	400

v e Z são grandezas diferentes: v diz com que rapidez a perturbação avança; Z diz quanta pressão é precisa para pôr o meio em movimento.

RESPOSTA

A imagem microscópica

- Num gás, o som passa de molécula para molécula por choques.
- A velocidade do som é da ordem da velocidade de agitação térmica:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma k_B T}{m}}, \quad v_{\text{térmica}} = \sqrt{\frac{3 k_B T}{m}} \approx 500 \text{ m s}^{-1} \text{ no ar}$$

Moléculas mais quentes movem-se mais depressa e passam a perturbação mais depressa.