Unimonte, Engenharia – Prof. Marco A. Simões
Física Aplicada, Ondas Sonoras

Para o ar, a menos que haja outra indicação, considerar $v = 344\ m/s$; $B = 1{,}42\times10^5\ Pa$; $\rho = 1{,}20\ k/m^3$

1. Uma onda sonora, deslocando-se no ar com frequência de 1000 Hz e amplitude de deslocamento igual a 1,2 x 10^{-8} m, produz uma pressão máxima igual a 3,0 x 10^{-2} Pa. a) Qual é o comprimento de onda dessas ondas? b) Para uma onda de 1000 Hz no ar, qual é a amplitude de deslocamento necessária para que a amplitude da pressão esteja no limiar da dor, que corresponde a 30 Pa? Resposta: $a)\ \lambda = 0{,}344\ m$; $b)\ A = 1{,}2\times10^{-5}\ m$.

2. Considere uma onda sonora no ar com velocidade de 344 m/s e com amplitude de deslocamento igual a 0,0200 mm Calcule a pressão máxima para as frequências: a) 150 Hz; b) 1500 Hz; c) 15000 Hz, Em cada caso, compare os resultados com a pressão do limiar da dor, que é igual a 30 Pa. Considere $B = 1{,}42\times10^5\ Pa$. Resposta: 7,78 Pa, abaixo; 77,8 Pa, acima; 778 Pa, muito acima.

3. Uma máquina barulhenta em uma fábrica produz um som de amplitude de deslocamento igual a 1,0 μm, mas a frequência desse som pode ser ajustada. A fim de prevenir danos aos ouvidos dos trabalhadores, a pressão máxima das ondas sonoras é limitada a 10,0 Pa. Qual é o som de frequência mais alta para o qual essa máquina pode ser ajustada sem exceder o limite recomendado? Essa frequência é audível para os trabalhadores? Resposta: $f = 3{,}86\times10^3\ Hz, audível$.

4. Em um líquido com densidade igual a 1300 kg/m^3, propaga-se uma onda longitudinal com frequência igual a 400 Hz e comprimento de onda igual a 8,0 m. Calcule o módulo de compressão B do líquido. Resposta: $B = 1{,}33\times10^{10}\ Pa$.

5. Uma barra metálica com 1,50 m de comprimento possui densidade igual a 6400 kg/m^3. Uma onda sonora longitudinal leva um tempo de 3,90 x10^{-4} s para ir de uma extremidade até a outra da barra. Qual é o módulo de Young do metal? Resposta: $Y = 9{,}47\times10^{10}\ Pa$.

6. Uma onda longitudinal se propagando em um tubo cheio de água possui frequência igual a 3400 Hz e intensidade igual a 3,0 x 10^{-6} W/m2. A densidade da água é 1000 kg/m3 e seu módulo de compressão B= 2,18 x 10^9Pa. Calcule a amplitude A e o comprimento de onda λ da onda. Resposta: $A = 9{,}42\times10^{-11}\ m$; $\lambda = 0{,}435\ m$.

7. Se o tubo do exercício anterior contivesse ar, qual deverá ser a amplitude A e o comprimento de onda λ de uma onda longitudinal com a mesma frequência e intensidade? Compare em qual fluido a amplitude é maior, no ar ou na água? Resposta: $A = 5{,}64\times10^{-9}\ m$; $\lambda = 0{,}101\ m$.

8. Uma onda sonora no ar tem uma frequência igual a 150 Hz e uma amplitude de deslocamento igual a 5,0 x 10^{-3} m. Para essa onda sonora, calcule: a) a pressão máxima em Pa; b) a intensidade (em W/m^2); c) o nível da intensidade sonora (em decibéis). Resposta: $P_{máx} = 1{,}95\ Pa$; $I = 4{,}61\ W/m^2$; $\beta = 96{,}6\ dB$.

9. a) Qual é o nível da intensidade sonora em dB no ouvido quando a intensidade do som é igual a 0,500 μW/m^2? b) Qual é o nível da intensidade sonora nas proximidades de um bate-estacas quando a pressão máxima do som é de 0,150 Pa? Resposta: $a)\ \beta = 47\ dB$; $b)\ 74{,}4\ dB$.

10. A boca de um bebê está a 30 cm de distância do ouvido do pai e a 1,50 m de distância do ouvido da mãe. Qual é a diferença entre o nível da intensidade do som ouvido pelo pai e o nível da intensidade do som ouvido pela mãe? Resposta: $\Delta\beta = 14\ dB$.

① $f = 1000\,Hz$

$A = 1{,}2 \times 10^{-8}\,m$

$P_{max} = 3{,}0 \times 10^{-2}\,Pa$

(a) $v = \lambda . f \qquad \lambda = \dfrac{344}{1000} \Rightarrow \lambda = 0{,}344\,m$

(b) $P_{max} = B.k.A$

$$A_1 = \frac{P_{max_1}}{Bk} \Rightarrow A_1 = \frac{3{,}0 \times 10^{-12}}{Bk} \Rightarrow Bk = \frac{3{,}0 \times 10^{-12}}{A_1}$$

$$A_2 = \frac{P_{max_2}}{Bk} \Rightarrow A_2 = \frac{30}{Bk} \Rightarrow Bk = \frac{30}{A_2}$$

Bk é o mesmos nos dois casos

$$\therefore \frac{3{,}0 \times 10^{-12}}{A_1} = \frac{30}{A_2} \quad ; \quad A_1 = 1{,}2 \times 10^{-8}\,m$$

$$\frac{3{,}0 \times 10^{-12}}{1{,}2 \times 10^{-8}} = \frac{30}{A_2}$$

$$A_2 = \frac{30 \times 1{,}2 \times 10^{-8}}{3{,}0 \times 10^{-12}} = 1{,}2 \times 10^{-5}\,m$$

② $A = 0{,}0200\ mm$

a) $f = 150\ Hz$

$P_{max} = BkA$;

$k = \frac{\omega}{v} \Rightarrow k = \frac{2\pi f}{v} \Rightarrow k = \frac{2\pi 150}{344} = 2{,}74\ rad/m$

$P_{max} = 1{,}42 \times 10^5 \times 2{,}74 \times 0{,}0200 \times 10^{-3} = 7{,}78\ Pa$

$P_{max} = 7{,}78\ Pa$ abaixo do limiar

b) $f = 1500\ Hz \Rightarrow k = 27{,}4\ rad/s$

$P_{max} = 10 \times 7{,}78\ Pa = 77{,}8\ Pa$, acima do limiar da dor

c) $f = 15000\ Hz$

$P_{max} = 778\ Pa$, bem acima

③ $P_{max} = B k A$

$A = 1{,}0 \times 10^{-6}\ m$

$P_{max} = 10\ Pa$

$v = 344\ m/s$

$B = 1{,}42 \times 10^{5}\ Pa$

$$k = \frac{w}{v} = \frac{2\pi f}{v}$$

$$P_{max} = B \times \frac{2\pi f}{v} \times A$$

$$10 = \frac{1{,}42 \times 10^{5} \times 2\pi \times f \times 1{,}0 \times 10^{-6}\ m}{344}$$

$$f = \frac{10 \times 344}{1{,}42 \times 10^{5} \times 2\pi \times 1{,}0 \times 10^{-6}}$$

$$f = 3{,}86 \times 10^{3}\ Hz$$

(4) $\rho = 1300\ kg/m^3$ $\qquad$ $B = ?$

$f = 400\ Hz$

$\lambda = 8,0$

$v = \lambda . f \Rightarrow v = 8,0 \times 400 \Rightarrow v = 3200\ m/s$

$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \Rightarrow v^2 = \frac{B}{\rho} \Rightarrow B = v^2 . \rho$

$B = 3200^2 \times 1300 \Rightarrow B = 1,33 \times 10^{10}\ Pa$

(5) $l = 1,5\ m$ $\qquad$ $Y = ?$

$\rho = 6400\ kg/m^3$

$\Delta t = 3,90 \times 10^{-4}\ s$

$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{1,5}{3,90 \times 10^{-4}} \Rightarrow v = 3,85 \times 10^3\ m/s$

$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \Rightarrow v^2 = \frac{Y}{\rho} \Rightarrow Y = v^2 \times \rho$

$Y = (3,85 \times 10^3)^2 \times 6400 \Rightarrow Y = 9,47 \times 10^{10}\ Pa$

(6) a) $f = 3400\ Hz$ $\qquad A = ?$

$I = 3{,}0 \times 10^{-6}\ W/m^2$ $\qquad \lambda = ?$

$\rho = 1000\ kg/m^3$

$B = 2{,}18 \times 10^{9}\ Pa$

$P_{max} = B\,k\,A \quad (1) \qquad I = \dfrac{P_{max}^2}{2\sqrt{\rho \cdot B}} \quad (2)$

$v = \sqrt{\dfrac{B}{\rho}} \quad (3)$

$v = \sqrt{\dfrac{2{,}18 \times 10^{9}}{1000}} \Rightarrow v = 1{,}48 \times 10^{3}\ m/s$

$k = \dfrac{2\pi f}{v} \Rightarrow k = \dfrac{2 \times \pi \times 3400}{1{,}48 \times 10^{3}} = 14{,}5$

de (2) $\Rightarrow \quad 3{,}0 \times 10^{-6} = \dfrac{P_{max}^2}{2\sqrt{1000 \times 2{,}18 \times 10^{9}}}$

$P_{max} = 2{,}98\ Pa$

de (3) $\Rightarrow \quad 2{,}98 = 2{,}18 \times 10^{9} \times 14{,}5 \times A$

$A = 9{,}42 \times 10^{-11}\ m$

(b) $v = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda = \dfrac{1{,}48 \times 10^{3}}{3400}$

$\lambda = 0{,}435\ m$

(vega anterior)

7) a) $f = 3400\ Hz$ $\qquad A = ?$

$I = 3{,}0 \times 10^{-6}\ W/m^2$ $\qquad \lambda = ?$

$\rho = 1{,}20\ kg/m^3$

$B = 1{,}42 \times 10^5\ Pa$

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{1{,}42 \times 10^5}{1{,}20}} \Rightarrow v = 344\ m/s$$

$$k = \frac{2\pi f}{v} \Rightarrow k = \frac{2\pi\, 3400}{344} = 62{,}1\ \frac{rad}{m}$$

$$I = \frac{P_{max}^2}{2\sqrt{\rho B}} \Rightarrow 3{,}0 \times 10^{-6} = \frac{P_m^2}{2\sqrt{1{,}2 \times 1{,}42 \times 10^5}}$$

$P_{max} = 4{,}98 \times 10^{-2}\ Pa$

$P_{max} = B\,k\,A$

$4{,}98 \times 10^{-2} = 1{,}42 \times 10^5 \times 62{,}1 \times A$

$A = 5{,}64 \times 10^{-9}\ m$

b) $v = \lambda . f \Rightarrow \lambda = \frac{344}{3400}$

$\lambda = 0{,}101\ m$

(8) $f = 150\ Hz$ $\rho = 1{,}2\ kg/m^3$

$A = 5{,}0 \times 10^{-3}\ m$

$B = 1{,}42 \times 10^{5}\ Pa$

(a) $P_{max} = B \times k \times A$, $k = \frac{2\pi f}{v} = \frac{2\pi\, 150}{344} = 2{,}74\ rad/m$

$P_{max} = 1{,}42 \times 10^{5} \times 2{,}74 \times 5{,}0 \times 10^{-3}$

$P_{max} = 1{,}95\ Pa$

(b) $I = \frac{P_{max}^2}{2\sqrt{\rho \cdot B}} \Rightarrow I = \frac{1{,}95}{2\sqrt{1{,}2 \times 1{,}42 \times 10^{5}}}$

$I = 4{,}61 \times 10^{-3}\ W/m^2$

(c) $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$

$\beta = 10 \cdot \log \frac{4{,}61 \times 10^{-3}}{10^{-12}}$

$\beta = 96{,}6\ dB$

(9) (a) $I = 0{,}500\ \mu W/m^2 = 0{,}500 \times 10^{-6}\ W/m^2$

$$\beta = 10 \log \frac{0{,}500 \times 10^{-6}}{10^{-12}}$$

$$\beta = 47\ dB$$

(b) $I = \dfrac{P_{max}^2}{2 \rho v} \rightarrow I = \dfrac{0{,}150}{2 \times 1{,}2 \times 344} \rightarrow I = 2{,}73 \times 10^{-5}\ W/m^2$

$$\beta = 10 . \log \frac{2{,}73 \times 10^{-5}}{10^{-12}} \Rightarrow \beta = 74{,}4$$

(10) $\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \dfrac{I_2}{I_1}$; $\dfrac{I_2}{I_1} = \dfrac{r_1^2}{r_2^2}$

$$\Delta B = 10 \log \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \Rightarrow \Delta B = 20 \log \frac{r_1}{r_2}$$

$$\Delta B = 20 \log \frac{1{,}5}{0{,}3} \Rightarrow \Delta B = 14\ dB$$