ONDAS. PROBLEMAS

1. Unha onda unidimensional propágase segundo a ecuación: $y = 2 \cos \{2\pi\, [(t/4) - (x/1{,}6)]\}$; onde as distancias "$x$" e "$y$" se miden en metros e o tempo en segundos. Determina:

a) O módulo da velocidade de propagación.
b) A diferenza de fase, nun instante dado, de dúas partículas separadas 120 cm na dirección de avance da onda.
c) A aceleración máxima.

a) A ecuación xeral dunha onda harmónica unidimensional que se propaga no eixe X e que a vibración ten lugar no eixe Y, utilizando a función coseno, é: $y(x,t) = A \cos(\omega t \pm k\, x)$. Comparando esta ecuación coa ecuación dada, sacamos os seguintes datos: A = 2 m; T = 4 s; λ = 1,6 m. A velocidade v de propagación da onda é:

$$\left.\begin{array}{l} v = \dfrac{x}{t} \rightarrow v = \dfrac{\lambda}{T} \\ \lambda = 1{,}6\ \text{m} \\ T = 4\ \text{s} \end{array}\right\} \rightarrow v = \frac{1{,}6}{4} \rightarrow \boxed{v = 0{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$$

b)

Fase: $\varphi = \left(\dfrac{2\,\pi}{4} t - \dfrac{2\,\pi}{1{,}6} x\right) \text{rad}$

En x_1: $\varphi_1 = \left(\dfrac{2\,\pi}{4} t - \dfrac{2\,\pi}{1{,}6} x_1\right) \text{rad}$

En x_2: $\varphi_2 = \left(\dfrac{2\,\pi}{4} t - \dfrac{2\,\pi}{1{,}6} x_2\right) \text{rad}$

$$|\Delta\varphi| = |\varphi_2 - \varphi_1| \rightarrow |\Delta\varphi| = \left|\left(\frac{2\,\pi}{4} t - \frac{2\,\pi}{1{,}6} x_2\right) - \left(\frac{2\,\pi}{4} t - \frac{2\,\pi}{1{,}6} x_1\right)\right| \rightarrow |\Delta\varphi| = \left|\frac{2\,\pi}{1{,}6}(x_2 - x_1)\right|$$

$$\left.\begin{array}{l} |\Delta\varphi| = \left|\dfrac{2\,\pi}{1{,}6}(x_2 - x_1)\right| \\ |(x_2 - x_1)| = 1{,}20\ \text{m} \end{array}\right\} \rightarrow \boxed{\Delta\varphi = 1{,}5\,\pi\ \text{rad}}$$

c) A aceleración obtense derivando dúas veces con respecto ó tempo a ecuación de onda:

$$y = 2\cos\left[(2\,\pi\, t/4) - (2\,\pi\, x/1{,}6)\right]$$

$$v = \frac{\mathrm{d}\, y(x,t)}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}\left\{2\cos\left[(2\,\pi\, t/4) - (2\,\pi\, x/1{,}6)\right]\right\}}{\mathrm{d}t} \rightarrow v = -2\cdot(2\cdot\pi/4)\,\text{sen}\left[(2\,\pi\, t/4) - (2\,\pi\, x/1{,}6)\right]$$

$$a = \frac{\mathrm{d}v(x,t)}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}\left\{-2\cdot(2\,\pi/4)\,\text{sen}\left[(2\,\pi\, t/4) - (2\,\pi\, x/1{,}6)\right]\right\}}{\mathrm{d}t}$$

$$a = -2 \cdot (2\,\pi/4)^2 \cos\left[(2\,\pi\,t/4) - (2\,\pi\,x/1{,}6)\right]$$

A aceleración en valor absoluto será máxima cando $\cos\left[(2\,\pi\,t/4) - (2\,\pi\,x/1{,}6)\right] = \pm 1$, resultando:

$|a_{\text{máxima}}| = 2 \cdot (2 \cdot \pi/4)^2 \rightarrow \boxed{|a_{\text{máxima}}| = 4{,}93\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}}$

2. Unha onda que se propaga por unha corda cunha velocidade de 2,0 m·s^{-1} no sentido positivo do eixo X, ten unha amplitude de 4,0·10^{-2} m e unha frecuencia de 4,0 Hz. Calcula:

a) A ecuación do movemento ondulatorio.
b) A diferenza de fase entre dous estados de vibración da mesma partícula cando o intervalo de tempo transcorrido é de 2,0 s. Razoa se están en fase ou en oposición de fase.
c) A diferenza de fase, nun instante dado, entre dúas partículas separadas 2,25 m. Razoa se están en fase ou en oposición de fase.

a) A ecuación xeral dunha onda harmónica unidimensional que se propaga no sentido positivo do eixe X e que a vibración ten lugar no eixe Y, utilizando a función coseno, é: $y(x,t) = A\cos(\omega t - k\,x)$.

Cálculo de ω e *k*:

$$\omega = 2\pi\cdot\nu \rightarrow \omega = 2\pi\cdot 4{,}0 \rightarrow \omega = 8{,}0\,\pi\,\text{s}^{-1}$$

$$\left.\begin{array}{l} k = \dfrac{2\pi}{\lambda} \\ \lambda = \dfrac{v}{\nu} \rightarrow \lambda = \dfrac{2{,}0}{4{,}0} \rightarrow \lambda = 0{,}5\,\text{m} \end{array}\right\} \rightarrow k = \frac{2\pi}{0{,}5} = 4{,}0\,\pi\,\text{m}^{-1}$$

$$\boxed{y(x,t) = 4{,}0\cdot 10^{-2}\cos(8{,}0\,\pi\,t - 4{,}0\,\pi\,x)\,\text{m}}$$

b) Fase: $\varphi = (8{,}0\,\pi\,t - 4{,}0\,\pi\,x)\,\text{rad}$

En t_1: $\varphi_1 = (8{,}0\,\pi\,t_1 - 4{,}0\,\pi\,x)\,\text{rad}$

En t_2: $\varphi_2 = (8{,}0\,\pi\,t_2 - 4{,}0\,\pi\,x)\,\text{rad}$

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \rightarrow \Delta\varphi = (8{,}0\,\pi\,t_2 - 4{,}0\,\pi\,x) - (8{,}0\,\pi\,t_1 - 4{,}0\,\pi\,x) \rightarrow \Delta\varphi = 8{,}0\,\pi\,(t_2 - t_1) \rightarrow \boxed{\Delta\varphi = 8{,}0\cdot 2\,\pi\,\text{rad}}$$

Dado que Δ*t* = 2,0 s é un múltiplo enteiro de *T*: $n\,T = \Delta t \rightarrow n\cdot\frac{1}{4{,}0} = 2{,}0 \rightarrow n = 8{,}0$; podemos concluír que $\boxed{\text{ambos estados de vibración están en fase}}$.

Por outra parte, a diferenza de fase é un múltiplo enteiro de 2 π: Δφ = 8,0·2 π rad, o que confirma que están en fase. Evidentemente, ambas condicións son equivalentes.

c) En x_1: $\varphi_1 = (8{,}0\,\pi\,t - 4{,}0\,\pi\,x_1)\,\text{rad}$

En x_2: $\varphi_2 = (8{,}0\,\pi\,t - 4{,}0\,\pi\,x_2)\,\text{rad}$

$$|\Delta\varphi| = |\varphi_2 - \varphi_1| \rightarrow |\Delta\varphi| = |(8{,}0\,\pi\,t - 4{,}0\,\pi\,x_2) - (8{,}0\,\pi\,t - 4{,}0\,\pi\,x_1)| \rightarrow |\Delta\varphi| = |4{,}0\,\pi\,(x_2 - x_1)| \rightarrow \boxed{\Delta\varphi = 9{,}0\,\pi\,\text{rad}}$$

Dado que Δ*x*, Δ*x* = 2,25 m, é un múltiplo impar de λ/2: $n\,\lambda = \Delta x \rightarrow n\cdot 0{,}5 = 2{,}25 \rightarrow n = 4{,}5 \rightarrow n = \frac{9}{2}$, podemos concluír que $\boxed{\text{ambos partículas están en oposición de fase}}$.

Por outra parte, a diferenza de fase é un múltiplo impar de π: Δφ = 9,0 π rad, o que confirma que están en oposición de fase. Evidentemente, ambas condicións son equivalentes.

3. A ecuación dunha onda transversal que se propaga nunha corda é: $y(x,t)=10\,\text{sen}\left[\pi\left(x-0,2\,t\right)\right]$, onde x e y se expresan en cm e t en s. Calcula:

a) A amplitude, a lonxitude de onda, a frecuencia e a velocidade de propagación da onda.
b) Os valores máximos da velocidade e da aceleración das partículas da corda.
c) En qué sentido se propaga a onda? Cal será a ecuación da onda transversal se se propaga en sentido contrario? Explícao.

a) $y(x,t)=10\,\text{sen}\left(\pi\,x-0,2\,\pi\,t\right)\text{cm}$

Comparando coa ecuación xeral $y(x,t)=A\,\text{sen}\left(k\,x-\omega t\right)$ resulta:

$\boxed{A = 0{,}10\text{ m}}$

$$\left.\begin{array}{l} k=\dfrac{2\,\pi}{\lambda} \\ k=\pi\cdot 10^2\text{ m}^{-1} \end{array}\right\} \rightarrow \pi\cdot 10^2=\frac{2\,\pi}{\lambda} \rightarrow \boxed{\lambda=2\cdot 10^{-2}\text{ m}}$$

$$\left.\begin{array}{l} \omega=2\,\pi\,\nu \\ \omega=0{,}2\,\pi\,\text{s}^{-1} \end{array}\right\} \rightarrow 0{,}2\,\pi=2\,\pi\,\nu \rightarrow \boxed{\nu=0{,}1\,\text{Hz}}$$

$$\left.\begin{array}{l} v=\dfrac{x}{t} \rightarrow v=\dfrac{\lambda}{T}=\lambda\,\nu \\ \lambda=2\cdot 10^{-2}\text{ m} \\ \nu=0{,}1\,\text{Hz} \end{array}\right\} \rightarrow v=2\cdot 10^{-2}\cdot 0{,}1 \rightarrow \boxed{v=2\cdot 10^{-3}\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}$$

b) $$v=\frac{\text{d}\,y(x,t)}{\text{d}t}=\frac{\text{d}\,y\left[\left(A\,\text{sen}\,(k\,x-\omega t)\right)\right]}{\text{d}t} \rightarrow v=-\,A\,\omega\cos\left(k\,x-\omega t\right)$$

$$\left|v_{\text{máxima}}\right|=A\,\omega \rightarrow \left|v_{\text{máxima}}\right|=0{,}10\cdot 0{,}2\cdot\pi \rightarrow \boxed{\left|v_{\text{máxima}}\right|=2{,}0\cdot 10^{-2}\,\pi\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}$$

$$a=\frac{\text{d}v(x,t)}{\text{d}t}=\frac{\text{d}\left[-\,A\,\omega\cos\left(k\,x-\omega t\right)\right]}{\text{d}t} \rightarrow a=-\,A\,\omega^2\,\text{sen}\left(k\,x-\omega\,t\right)$$

$$\left|a_{\text{máxima}}\right|=A\,\omega^2 \rightarrow \left|a_{\text{máxima}}\right|=0{,}10\cdot\left(0{,}2\cdot\pi\right)^2 \rightarrow \boxed{\left|a_{\text{máxima}}\right|=4{,}0\cdot 10^{-3}\cdot\pi^2\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}}$$

c) A onda propágase no sentido positivo do eixo X, xa que a velocidade de propagación da onda é positiva. Se se propaga no sentido negativo do eixo X: $y(x,t)=10\,\text{sen}\left[\pi\left(x+0,2\,t\right)\right]$, xa que a velocidade de propagación da onda é negativa.

4. Unha onda transversal propágase a través dunha corda. O desprazamento das partículas está dado por: $y(x,t)=0{,}06\,\text{sen}\left[\pi\,x+20\,\pi\,t+\dfrac{\pi}{2}\right]$ (unidades SI). Calcula:

a) O período da onda.
b) A rapidez de propagación.
c) A ecuación da corda en t = 4 s e o seu gráfico.

a) A función matemática da onda pode escribirse como: $y(x,t)=A\,\text{sen}(k\,x\pm\omega\,t+\varphi_0)$, co signo – para as ondas que viaxan no sentido positivo do eixo X e co signo + para as ondas que viaxan en sentido contrario.

Comparando coa función dada do enunciado: $y(x,t)=0{,}06\,\text{sen}(\pi\,x+20\,\pi\,t+\pi/2)$, obtemos os parámetros da onda:

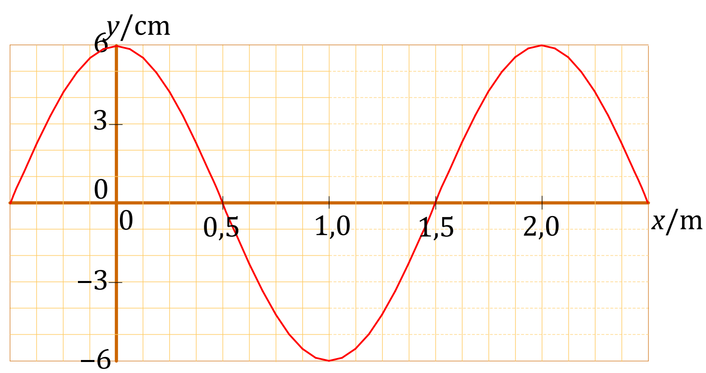
$$\left.\begin{aligned}&\omega=\frac{2\,\pi}{T}\rightarrow T=\frac{2\,\pi}{\omega}\\&\omega=20\,\pi\ \text{rad/s}\end{aligned}\right\}\rightarrow T=\frac{2\,\pi}{20\,\pi}\rightarrow\boxed{T=0{,}1\ \text{s}}$$

b)

$$\left.\begin{aligned}&v=\frac{x}{t}\rightarrow v=\frac{\lambda}{T}\\&\left.\begin{aligned}&k=\frac{2\,\pi}{\lambda}\\&k=\pi\ \text{m}^{-1}\end{aligned}\right\}\rightarrow\pi=\frac{2\,\pi}{\lambda}\rightarrow\lambda=2\ \text{m}\\&T=0{,}1\ \text{s}\end{aligned}\right\}\rightarrow v=\frac{2}{0{,}1}\rightarrow v=20\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

c) A ecuación da onda en t = 4 s:

$$y(x,4)=0{,}06\,\text{sen}\left(\pi\,x+20\cdot\pi\cdot4+\frac{\pi}{2}\right)\rightarrow y(x,4)=0{,}06\,\text{sen}\left(\pi\,x+\frac{\pi}{2}\right)\rightarrow\boxed{y(x,4)=0{,}06\cos(\pi\,x)\ \text{m}}$$



5. Unha onda, de frecuencia 30 Hz, desprázase por unha corda situada ao longo do eixo X. A onda oscila nunha dirección Y cunha amplitude de 20 cm. Se a velocidade das ondas na corda é de 120 $m \cdot s^{-1}$ e a densidade lineal é de 60 $g \cdot m^{-1}$, determina:

a) A lonxitude de onda.
b) A ecuación de onda.
c) A enerxía por unidade de lonxitude.

a) A lonxitude de onda pode obterse a partir da relación entre velocidade e frecuencia:

$$\left.\begin{array}{l} v=\frac{x}{t} \rightarrow v=\frac{\lambda}{T}=\lambda\,\nu \rightarrow \lambda=\frac{v}{\nu} \\ v=120\,\mathrm{m\cdot s^{-1}} \\ \nu=30\,\mathrm{Hz} \end{array}\right\} \rightarrow \lambda=\frac{120}{30} \rightarrow \boxed{\lambda=4\,\mathrm{m}}$$

b) Calculamos e substituímos os valores correspondentes das magnitudes que aparecen na ecuación xeral dunha onda harmónica: $y(x,t)=A\,\mathrm{sen}(k\,x\pm\omega t)$

$$\left.\begin{array}{l} k=\frac{2\pi}{\lambda} \\ \lambda=4\,\mathrm{m} \end{array}\right\} \rightarrow k=\frac{2\pi}{4} \rightarrow k=\frac{\pi}{2}\ \mathrm{m^{-1}}$$

$$\omega=2\pi\nu \ \rightarrow\ \omega=2\pi 30=60\pi\,\mathrm{rad\cdot s^{-1}}$$

$$\boxed{y(x,t)=0{,}2\cdot\mathrm{sen}\left(\frac{\pi}{2}x-60\,\pi\,t\right)(\mathrm{m})}$$

c) Para obter a enerxía por unidade de lonxitude, partimos da enerxía dun movemento harmónico simple:
$E=\frac{1}{2}\cdot K\cdot A^2=\frac{1}{2}\cdot m\cdot\omega^2\cdot A^2=\frac{1}{2}\cdot m\cdot(2\pi\nu)^2\cdot A^2=2\mu\,l\,\pi^2\cdot\nu^2\cdot A^2$, sendo μ a densidade lineal de masa: $\mu=\frac{m}{l}$.

A enerxía por unidade de lonxitude será:

$$\frac{E}{l}=2\mu\,\pi^2\,\nu^2\,A^2 \rightarrow \frac{E}{l}=2\cdot 60\cdot 10^{-3}\cdot\pi^2\cdot 30^2\cdot 0{,}2^2 \rightarrow \boxed{\frac{E}{l}=42{,}6\,\mathrm{J\cdot m^{-1}}}$$

6. Unha onda xerada por unha corda de 0,01 kg·m⁻¹ de densidade lineal vén dada pola ecuación: $y(x,t) = 0{,}2\,\text{sen}(2\,\pi\,x + 50\,\pi\,t)\,\text{m}$. Calcula:

a) A frecuencia da onda.
b) A velocidade de propagación das ondas na corda.
c) A potencia que transporta a onda.

a) A frecuencia obtense da expresión:

$$\omega = 2\,\pi\,\nu \;\rightarrow\; \nu = \frac{\omega}{2\,\pi} \;\rightarrow\; \nu = \frac{50\,\pi}{2\,\pi} \;\rightarrow\; \boxed{\nu = 25\,\text{Hz}}$$

b) A velocidade de propagación resulta de:

$$\left.\begin{array}{l} v = \dfrac{x}{t} \;\rightarrow\; v = \dfrac{\lambda}{T} = \lambda\,\nu \\ \left.\begin{array}{l} \omega = 2\,\pi\,\nu \;\rightarrow\; \nu = \dfrac{\omega}{2\,\pi} \\ \omega = 50\,\pi\,\text{s}^{-1} \end{array}\right\} \rightarrow\; \nu = \dfrac{50\,\pi}{2\,\pi} = 25\,\text{Hz} \\ \left.\begin{array}{l} k = \dfrac{2\,\pi}{\lambda} \;\rightarrow\; \lambda = \dfrac{2\,\pi}{k} \\ k = 2\,\pi\,\text{m}^{-1} \end{array}\right\} \rightarrow\; \lambda = \dfrac{2\,\pi}{2\,\pi} \;\rightarrow\; \lambda = 1\,\text{m} \end{array}\right\} \rightarrow\; v = 1 \cdot 25 \;\rightarrow\; \boxed{v = 25\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$$

c) A potencia que transporta a onda é a enerxía por unidade de tempo: $P = \dfrac{E}{t}$.

$$E = \frac{1}{2} \cdot K \cdot A^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \omega^2 \cdot A^2 \xrightarrow[\omega = 2\,\pi\,\nu]{m = \mu \cdot l} E = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot l \cdot (2\,\pi\,\nu)^2 \cdot A^2 = 2 \cdot \mu \cdot l \cdot \pi^2 \cdot \nu^2 \cdot A^2$$

$$P = \frac{E}{t} = \frac{2 \cdot \mu \cdot l \cdot \pi^2 \cdot \nu^2 \cdot A^2}{t} = 2 \cdot \mu \cdot v \cdot \pi^2 \cdot \nu^2 \cdot A^2 \;\rightarrow\; P = 2 \cdot 0{,}01 \cdot 25 \cdot \pi^2 \cdot 25^2 \cdot 0{,}2^2 \;\rightarrow\; \boxed{P = 123\,\text{W}}$$

7. Unha onda cuxa amplitude é 0,3 m recorre 300 m en 20 s. Calcula:

a) A lonxitude de onda.
b) Constrúe a ecuación de onda, tendo en conta que o seu avance é no sentido negativo do eixe X.
c) A máxima velocidade dun punto que vibra coa onda se a frecuencia é 2 Hz.

a) A lonxitude de onda determínase a partir da velocidade de propagación.

$$\left.\begin{array}{l} v=\dfrac{\lambda}{T}=\lambda\,\nu \rightarrow \lambda=\dfrac{v}{\nu} \\ v=\dfrac{x}{t} \rightarrow v=\dfrac{300}{20} \rightarrow v=15\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1} \\ \nu=2\,\text{Hz} \end{array}\right\} \rightarrow \lambda=\frac{15}{2} \rightarrow \boxed{\lambda=7{,}5\,\text{m}}$$

b) A ecuación de onda obtense ao substituír os datos na expresión xeral: $y(x,t)=A\,\text{sen}\,(\omega t+k\,x)$.

$$\left.\begin{array}{l} y(x,t)=A\,\text{sen}\,(\omega t+k\,x) \\ A=0{,}3\,\text{m} \\ \omega=2\cdot\pi\cdot\nu \rightarrow \omega=4\,\pi\,\text{Hz} \\ k=\dfrac{2\,\pi}{\lambda} \rightarrow k=\dfrac{2\,\pi}{7{,}5}=\dfrac{4\,\pi}{15}\,\text{m}^{-1} \end{array}\right\} \rightarrow \boxed{y(x,t)=0{,}3\,\text{sen}\cdot\left(4\,\pi\,t+\frac{4\,\pi}{15}\,x\right)\text{m}}$$

c) A máxima velocidade pode determinarse a partir da expresión da velocidade, que se obtén ó derivar a ecuación de onda:

$$v=\frac{\text{d}\,y(x,t)}{\text{d}t}=\frac{\text{d}\left[0{,}3\cdot\text{sen}\left(4\,\pi\,t+\dfrac{4\,\pi}{15}\,x\right)\right]}{\text{d}t} \rightarrow v=0{,}3\cdot4\cdot\pi\cdot\cos\left(4\,\pi\,t+\frac{4\,\pi}{15}\,x\right)$$

$$|v_{\text{máxima}}|=0{,}3\cdot4\cdot\pi \quad\rightarrow\quad \boxed{|v_{\text{máxima}}|=1{,}2\,\pi\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$$

8. A función de onda dunha onda harmónica que se move nunha corda é $y(x,t)=0{,}03\,\text{sen}(2{,}2\,x-3{,}5\,t)$, onde as lonxitudes se expresan en metros e o tempo en segundos. Determina:

a) A lonxitude de onda e o período desta onda.
b) A velocidade de propagación.
c) A velocidade máxima de calquera segmento da onda.

a) Comparando a ecuación xeral dunha onda harmónica unidimensional que se propaga no eixe X e que a vibración ten lugar no eixe Y, utilizando a función seno, $y(x,t)=A\,\text{sen}(k\,x\pm\omega\,t)$, coa ecuación de onda dada: $y(x,t)=0{,}03\,\text{sen}(2{,}2\,x-3{,}5\,t)$, temos:

$$\left.\begin{array}{l} k=\dfrac{2\,\pi}{\lambda}\rightarrow\lambda=\dfrac{2\,\pi}{k} \\ k=2{,}2\ \text{m}^{-1}\end{array}\right\}\rightarrow\lambda=\frac{2\,\pi}{2{,}2}\rightarrow\boxed{\lambda=2{,}9\ \text{m}}$$

$$\left.\begin{array}{l} \omega=\dfrac{2\,\pi}{T}\rightarrow T=\dfrac{2\,\pi}{\omega} \\ \omega=3{,}5\ \text{s}^{-1}\end{array}\right\}\rightarrow T=\frac{2\,\pi}{3{,}5}\rightarrow\boxed{T=1{,}8\ \text{s}}$$

b) Velocidade de propagación:

$$\left.\begin{array}{l} v=\dfrac{x}{t}\rightarrow v=\dfrac{\lambda}{T} \\ \lambda=2{,}9\ \text{m} \\ T=1{,}8\ \text{s}\end{array}\right\}\rightarrow v=\frac{2{,}9}{1{,}8}\rightarrow\boxed{v=1{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$$

c) Velocidade máxima:

$$v=\frac{\text{d}\,y(x,t)}{\text{d}t}=\frac{\text{d}\left[0{,}03\,\text{sen}(2{,}2\,x-3{,}5\,t)\right]}{\text{d}t}\rightarrow v=-0{,}03\cdot3{,}5\cos(2{,}2\,x-3{,}5\,t)$$

$$|v_{\text{máxima}}|=0{,}03\cdot3{,}5\rightarrow\boxed{|v_{\text{máxima}}|=0{,}11\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$$

9. Un altofalante emite ondas sonoras esféricas cunha potencia de 200 W. Determina:

a) A enerxía emitida en media hora.
b) A intensidade sonora a 4 m do altofalante.
c) O nivel de intensidade sonora, en dB, a 4 m do altofalante.

Datos: $I_0 = 10^{-12}$ W·m^{-2}.

a) A enerxía emitida é:

$$\left.\begin{array}{l} P = \dfrac{E}{t} \to E = P \cdot t \\ P = 200\ \text{W} \\ t = 0{,}5\ \text{h} = 1800\ \text{s} \end{array}\right\} \to E = 200 \cdot 1800 \to \boxed{E = 3{,}6 \cdot 10^5\ \text{J}}$$

b) A intensidade sonora será:

$$\left.\begin{array}{l} I = \dfrac{P}{S} = \dfrac{P}{4\,\pi\, r^2} \\ P = 200\ \text{W} \\ r = 4\ \text{m} \end{array}\right\} \to I = \dfrac{200}{4 \cdot \pi \cdot 4^2} \to \boxed{I = 1{,}00\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}}$$

c) Tendo en conta a definición do nivel de intensidade sonora en dB:

$$S = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \to S = 10 \cdot \log \frac{1{,}00}{10^{-12}} \to \boxed{S = 120\ \text{dB}}$$

10. O canto dun galo produce unha onda esférica de 1 mW de potencia.

a) Cal é o nivel de intensidade sonora a unha distancia de 10 m?
b) Outro galo canta, simultaneamente, cunha potencia de 2 mW, a unha distancia de 30 m do primeiro galo. Cal será a intensidade do son resultante no punto medio do segmento que une ambos galos?
c) Cal será o nivel de intensidade sonora resultante?

Datos: $I_0 = 10^{-12}$ W·m^{-2}.

a) O nivel de intensidade sonora será:

$$\left.\begin{array}{l} S = 10 \cdot \log \dfrac{I}{I_0} \\ \left.\begin{array}{l} I = \dfrac{P}{S} = \dfrac{P}{4\,\pi\, r^2} \\ P = 0{,}001\ \text{W} \\ r = 10\ \text{m} \end{array}\right\} \rightarrow I = \dfrac{0{,}001}{4 \cdot \pi \cdot 10^2} = 7{,}96 \cdot 10^{-7}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \end{array}\right\} \rightarrow S = 10 \cdot \log \frac{7{,}96 \cdot 10^{-7}}{10^{-12}} \rightarrow \boxed{S = 59\ \text{dB}}$$

b) No punto medio, a intensidade sonora será a suma das intensidades do canto de cada un dos galos:

$$\left.\begin{array}{l} I = I_1 + I_2 \\ I_1 = \dfrac{P_1}{S_1} = \dfrac{0{,}001}{4 \cdot \pi \cdot 15^2} \\ I_1 = \dfrac{P_1}{S_1} = \dfrac{0{,}002}{4 \cdot \pi \cdot 15^2} \end{array}\right\} \rightarrow I = \frac{0{,}001}{4 \cdot \pi \cdot 15^2} + \frac{0{,}002}{4 \cdot \pi \cdot 15^2} \rightarrow \boxed{I = 1{,}06 \cdot 10^{-6}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}}$$

c) E o nivel de intensidade sonora resultante será:

$$S = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \rightarrow S = 10 \cdot \log \frac{1{,}06 \cdot 10^{-6}}{10^{-12}} \rightarrow \boxed{S = 60\ \text{dB}}$$

11. O vo 370 de MalaysiaAirlines que desapareceu o 8 de marzo de 2014 no Mar de China estaba sendo controlado dende a torre de control cun radar de 1000 MHz de frecuencia e 1 kW de potencia.

a) Calcula o número de fotóns por segundo que emitía o radar.
b) Calcula a intensidade das ondas do radar á distancia que estaba o avión cando se detectou por última vez, sabendo que dita distancia era de 200 km dende a posición do radar. Suponse ondas esféricas e non se ten en conta a absorción na atmosfera.
c) Un barco de rescate rexistrou sinais ultrasónicas procedentes do fondo do océano, que poderían ser da caixa negra do avión. Sábese que a caixa negra emite ondas acústicas de 37,5 kHz e 160 dB. Calcula a lonxitude de onda e a intensidade destes ultrasóns.

Datos: h = 6,63·10⁻³⁴ J·s; velocidade do son na auga = 1500 m·s⁻¹; I_0 = 10⁻¹² W·m⁻².

a) A enerxía dun fotón é:

$$E = h\nu \rightarrow E = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 10^{9} \rightarrow E = 6{,}63 \cdot 10^{-25}\ \text{J}$$

Dado que a potencia é a relación entre enerxía e tempo:

$$\left.\begin{array}{l} P = \dfrac{n \cdot E_{\text{fotón}}}{t} \\ P = 1000\ \text{W} \\ E_{\text{fotón}} = 6{,}63 \cdot 10^{-25}\ \text{J} \\ t = 1\ \text{s} \end{array}\right\} \rightarrow 1000 = \frac{n \cdot 6{,}63 \cdot 10^{-25}}{1} \rightarrow \boxed{n = 1{,}51 \cdot 10^{27}\ \text{fotóns/s}}$$

b) A intensidade da onda é:

$$\left.\begin{array}{l} I = \dfrac{P}{S} = \dfrac{P}{4\,\pi\, r^2} \\ P = 1000\ \text{W} \\ r = 2 \cdot 10^{5}\ \text{m} \end{array}\right\} \rightarrow I = \frac{1000}{4 \cdot \pi \cdot \left(2 \cdot 10^{5}\right)^2} \rightarrow \boxed{I = 2 \cdot 10^{-9}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}}$$

c) A lonxitude de onda será:

$$\left.\begin{array}{l} v = \lambda\,\nu \rightarrow \lambda = \dfrac{v}{\nu} \\ v = 1500\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \\ \nu = 37{,}5 \cdot 10^{3}\ \text{Hz} \end{array}\right\} \rightarrow \lambda = \frac{1500}{37{,}5 \cdot 10^{3}} \rightarrow \boxed{\lambda = 0{,}04\ \text{m}}$$

A intensidade sonora S dos ultrasóns pode obterse a partir de:

$$S = 10 \log \frac{I}{I_0} \rightarrow 160 = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow \boxed{I = 10^{4}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}}$$

12. Para determinar a profundidade dunha cova emítese unha onda sonora esférica de 20 W, escoitándose o eco ao cabo de 3 s. Supoñendo que a cova é suficientemente ampla para desprezar as reflexións nas paredes laterais e os fenómenos de absorción, determina:

a) A profundidade da cova.
b) A intensidade da onda sonora ao chegar ao fondo da cova.
c) O nivel de intensidade sonora nese momento. Ultrasóns.

Datos: velocidade do son = 340 m·s⁻¹.

a) A profundidade da cova determínase tendo en conta o movemento uniforme do son e que 3 s é o tempo que emprega a onda no camiño de ida e volta:

$$v = \frac{\text{distancia}}{t} \rightarrow \text{distancia} = v \cdot t \rightarrow \text{distancia} = 340 \cdot \frac{3}{2} \rightarrow \boxed{\text{distamcia} = 510\,\text{m}}$$

b) A intensidade é:

$$\left.\begin{array}{l} I = \dfrac{P}{S} = \dfrac{P}{4\,\pi\, r^2} \\ P = 20\,\text{W} \\ r = 510\,\text{m} \end{array}\right\} \rightarrow I = \frac{20}{4 \cdot \pi \cdot 510^2} \rightarrow \boxed{I = 6{,}12 \cdot 10^{-6}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}}$$

c) O nivel de intensidade sonora S é:

$$S = 10 \log \frac{I}{I_0} \rightarrow S = 10 \log \frac{6{,}12 \cdot 10^{-6}}{10^{-12}} \rightarrow \boxed{S = 68\,\text{dB}}$$

13. Dous altofalantes emiten ondas sonoras con potencias P_A e P_B, sendo $P_B = 2\ P_A$. Nun punto P, situado a unha distancia de 5 m, equidistante de ambos altofalantes, o nivel de intensidade sonora é de 90 dB. Determina:

a) A intensidade sonora en P.
b) A potencia de cada un dos altofalantes.
a) O nivel de intensidade sonora nun punto Q, situado a 2 m de A e 8 m de B.

Dato: $I_0 = 10^{-12}$ W·m^{-2}.

a) Coñecendo o nivel de intensidade sonora en P, podemos determinar a intensidade:

$$S = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \rightarrow 90 = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow \boxed{I = 10^{-3}\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}}$$

b) A partir da relación entre intensidade e potencia:

$$\left.\begin{aligned} & I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\,\pi\,r^2} \\ & I = 10^{-3}\ \mathrm{W \cdot m^2} \\ & r = 5\ \mathrm{m} \end{aligned}\right\} \rightarrow 10^{-3} = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot 5^2} \rightarrow P = 0{,}314\ \mathrm{W}$$

$$\left.\begin{aligned} & P = P_A + P_B \\ & P_B = 2\,P_A \\ & P = 0{,}314\ \mathrm{W} \end{aligned}\right\} \rightarrow 0{,}314 = 3\,P_A \rightarrow \left\{\begin{aligned} & \boxed{P_A = 0{,}105\ \mathrm{W}} \\ & \boxed{P_B = 0{,}209\ \mathrm{W}} \end{aligned}\right.$$

c) No punto Q, determinamos a intensidade sonora debida a cada altofalante:

$$\left.\begin{aligned} & S = 10 \cdot \log \frac{I_A + I_B}{I_0} \\ & I_A = \frac{P_A}{S_A} \rightarrow I_A = \frac{0{,}105}{4 \cdot \pi \cdot 2^2} \rightarrow I_A = 2{,}09 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{W \cdot m^{-2}} \\ & I_B = \frac{P_B}{S_B} \rightarrow I_B = \frac{0{,}209}{4 \cdot \pi \cdot 8^2} \rightarrow I_B = 2{,}60 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{W \cdot m^{-2}} \\ & I_0 = 10^{-12}\ \mathrm{W \cdot m^{-2}} \end{aligned}\right\} \rightarrow S = 10 \cdot \log \frac{2{,}09 \cdot 10^{-3} + 2{,}60 \cdot 10^{-4}}{10^{-12}} \rightarrow \boxed{S = 93{,}7\ \mathrm{dB}}$$

14. Dous altofalantes están situados á mesma altura e separados entre si unha distancia de 4,0 m. Ambos emiten un son puro de 200 Hz. No primeiro, F_1, seleccionouse unha potencia de 1,2 mW e no segundo, F_2, a potencia seleccionada é 1,8 mW. Sábese que vibran en fase.

a) Determine a intensidade do son nun punto do plano no que están os altofalantes situado a 4,0 m do primeiro altofalante e a 3,0 m do segundo.
b) Supoña agora que en ambos altofalantes selecciónase a mesma potencia, 1,0 mW, e o son puro que emiten é de 40 Hz Cal será o nivel de intensidade sonora no punto medio entre ambos altofalantes?
c) Empregando a curva isofónica axunta, determine o nivel de sensación sonora no punto medio entre ambos altofalantes?

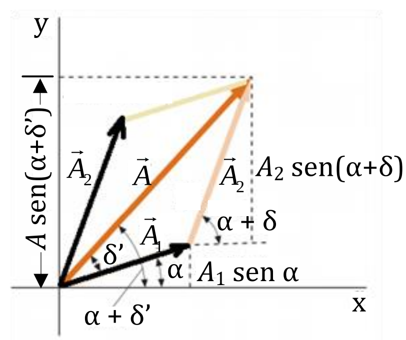
Datos: velocidade do son 340 m·s⁻¹; $I_0 = 10^{-12}$ W·m⁻².

a) Por tratarse de ondas síncronas, pode utilizarse un diagrama de fasores para o cálculo da amplitude A resultante, aplicando o teorema do coseno.

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2\,A_1\,A_2\cos\delta$$

E como a intensidade da onda I é directamente proporcional ao cadrado da amplitude, $I \propto A^2$:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1}\,\sqrt{I_2}\,\cos\delta$$



Considerando o desfase entre ambas ondas como: $\delta = k\cdot\Delta r$,

sendo k o número de onda: $k = \dfrac{2\,\pi}{\lambda}$.

Como a velocidade do son é: $v = \lambda\cdot\nu \rightarrow \lambda = \dfrac{v}{\nu}$

Entonces:

$$k = \frac{2\,\pi}{\lambda} = \frac{2\,\pi}{v}\nu$$

Polo que:

$$\delta = \frac{2\,\pi\cdot\nu\cdot\Delta r}{v}$$

Considerando que se trata de ondas con envolvente esférica:

$$I_1 = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P_1}{4\,\pi\,r_1^2};\ I_2 = \frac{P_2}{S_2} = \frac{P_2}{4\,\pi\,r_2^2}$$

Desta maneira, substituíndo na ecuación da intensidade e tomando a velocidade do son de 340 m/s, resulta:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1}\,\sqrt{I_2}\,\cos\delta$$

$$I = \frac{P_1}{4\,\pi\,r_1^2} + \frac{P_2}{4\,\pi\,r_2^2} + 2\cdot\sqrt{\frac{P_1}{4\,\pi\,r_1^2}}\cdot\sqrt{\frac{P_2}{4\,\pi\,r_2^2}}\cdot\cos\left(\frac{2\,\pi\,\nu\,\Delta r}{v}\right)$$

$$I=\frac{1,2\cdot 10^{-3}}{4\cdot \pi \cdot 4^{2}}+\frac{1,8\cdot 10^{-3}}{4\cdot \pi \cdot 3^{2}}+2\cdot \sqrt{\frac{1,2\cdot 10^{-3}}{4\cdot \pi \cdot 4^{2}}}\cdot \sqrt{\frac{1,8\cdot 10^{-3}}{4\cdot \pi \cdot 3^{2}}}\cdot \cos\left(\frac{2\cdot \pi \cdot 200\cdot (4-3)}{340}\right)$$

$$I=5,97\cdot 10^{-6}+1,59\cdot 10^{-5}+19,49\cdot 10^{-6}\cdot(-0,850) \rightarrow \boxed{I=5,3\cdot 10^{-6}\ \mathrm{W\cdot m^{-2}}}$$

b) Dado que os altofalantes vibran en fase, as ondas chegan ao punto medio tamén en fase (a diferenza de camiños é 0) polo que a amplitude duplícase.

$$A^{2}=A_{1}{}^{2}+A_{2}{}^{2}+2\,A_{1}\,A_{2}\cos\delta \xrightarrow{\text{en fase}} A=A_{1}+A_{2}$$

Como ambos emiten coa mesma potencia de 1,0 mW: $A_1 = A_2$

$$A^{2}=(2\,A_{1})^{2}=4\,A_{1}{}^{2}$$

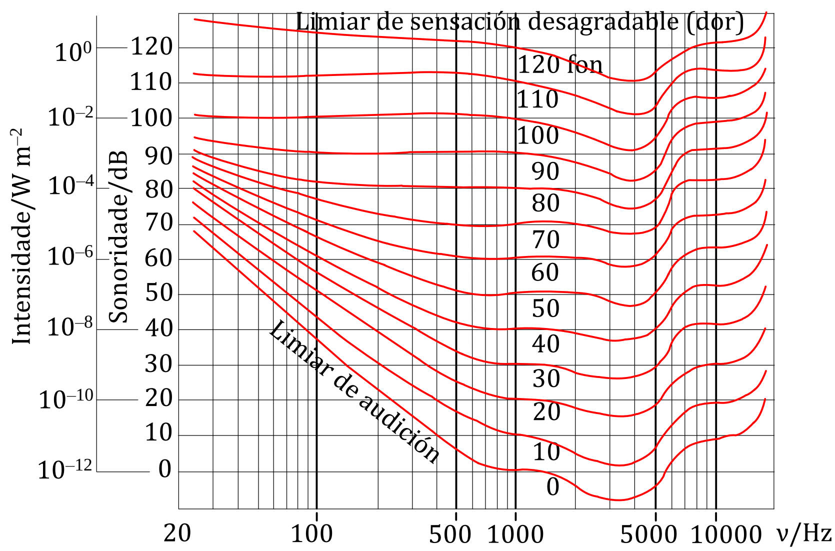
Como $I\propto A^{2}$, resulta: $I=4\,I_{1}$

$$I_{1}=I_{2}=\frac{P}{4\,\pi\,r^{2}} \rightarrow I=4\cdot\frac{P}{4\,\pi\,r^{2}}$$

Para determinar o nivel de intensidade sonora, en dB:

$$S=10\cdot\log\left(\frac{I}{I_{0}}\right)=10\cdot\log\left(\frac{4\cdot\frac{P}{4\,\pi\,r^{2}}}{I_{0}}\right)=10\cdot\log\left(\frac{4\cdot\frac{1,0\cdot 10^{-3}}{4\cdot\pi\cdot 2^{2}}}{10^{-12}}\right) \rightarrow \boxed{S=79,00\ \mathrm{dB}}$$

Para determinar o nivel de sensación sonora, en fonios, observamos as curvas fónicas. Tomando a abscisa de 40 Hz e ordenada 79 dB obtemos unha curva isofónica de $\boxed{\text{60 fonios}}$ de sensación sonora.



ONDAS. CUESTIÓNS

1. Unha onda sen rozamentos amortécese de tal xeito que a amplitude é proporcional á inversa da raíz cadrada da distancia á orixe. Isto débese a que é unha onda: a) esférica; b) cilíndrica; c) lineal.

SOL.: **b**

Tendo en conta que a intensidade I do movemento ondulatorio é a relación entre a potencia P (ou enerxía por unidade de tempo) e a superficie normal á dirección de propagación, teremos para ondas cilíndricas: $I = P/(2\ \pi\ r\ h)$.

A intensidade é proporcional á enerxía E e esta é directamente proporcional ao cadrado da amplitude A de oscilación ($E = ½\ k\ A^2$), resultando que I será directamente proporcional a A^2 e inversamente proporcional a r. Polo tanto, A será inversamente proporcional a $r^{1/2}$.

2. Escoitando un coro, atopamos nunha nota mantida que se producen altibaixos de sonoridade. Popularmente dise que é debido a que alguén "desentoa". Na realidade, o que pasa é que alguén:

a) Está dando unha frecuencia sonora diferente ó resto.
b) Está producindo unha intensidade diferente.
c) A composición das frecuencias que constitúen a súa voz nese momento é diferente á dos seus compañeiros.

SOL.: **a**

Unha das calidades do son, o ton, que nos permite distinguir os sons agudos dos graves, depende da súa frecuencia fundamental. Cando as frecuencias fundamentais das ondas que se compoñen son diferentes, a composición das ondas pasa por intervalos de tempo nas que se producen interferencias construtivas e outros nas que son destrutivas, interpretadas como altibaixos de sonoridade. Polo tanto "desentoar" supón modificar esta frecuencia fundamental.

3. A velocidade dunha onda:

a) Varía coa fase na que se atope o punto.
b) Varía coa distancia do punto á orixe.
c) Varía ao cambiar o medio de propagación.

SOL.: **c**

A velocidade dunha onda é o resultado do produto da lonxitude de onda pola frecuencia, e depende do medio no que se está a propagar a onda. Ao cambiar o medio de propagación producirase unha modificación da súa lonxitude de onda que implicará un cambio da velocidade da onda. A frecuencia non se modifica ao depender exclusivamente do foco emisor.

4. Na composición de dúas ondas luminosas das mesmas características prodúcense lugares onde non hai iluminación apreciable.

a) Isto é unha reflexión.
b) Prodúcese unha interferencia.
c) Non é certo, non se produce nunca.

SOL.: **b**

As interferencias prodúcense por superposición de dous movementos ondulatorios. Neste caso estamos a considerar o comportamento ondulatorio da luz. Cando dúas ondas luminosas estacionarias producidas por focos distintos que se propagan polo mesmo medio se atopan nun mesmo punto, prodúcese o fenómeno das interferencias. Posto que a luz ten natureza electromagnética, as perturbacións mutuas preséntanse como reforzos ou diminucións dos campos eléctricos e magnéticos, equivalentes á composición construtiva ou destrutiva das mesmas.

5. A enerxía mecánica dun oscilador harmónico:
a) Duplícase cando se duplica a amplitude da oscilación.
b) Duplícase cando se duplica a frecuencia da oscilación.
c) Cuadriplícase cando se duplica a amplitude da oscilación.

SOL.: **c**

Como a enerxía mecánica é $E = (1/2)\,k\,A^2$, resulta que se duplicamos A se cuadriplica E.

6. A ecuación dunha onda transversal de amplitude 4 cm e frecuencia 20 Hz que se propaga no sentido negativo do eixo X cunha velocidade de 20 m·s^{-1} é:

a) $y(x,t)=4\cdot 10^{-2}\cdot\cos\left[\pi\left(40\,t+2\,x\right)\right]\text{m}$

b) $y(x,t)=4\cdot 10^{-2}\cdot\cos\left[\pi\left(40\,t-2\,x\right)\right]\text{m}$

c) $y(x,t)=4\cdot 10^{-2}\cdot\cos\left[2\,\pi\left(40\,t+2\,x\right)\right]\text{m}$

SOL. **a**

A única resposta posible é a a), xa que cumpre que: ν = 20 Hz e v = 20 m·s^{-1}.

$y(x,t)=4\cdot 10^{-2}\cdot\cos\left(40\,\pi\,t+2\,\pi\,x\right)\text{m}$

Comparando coa ecuación xeral, $y(x,t)=A\cos\left(\omega t+k\,x\right)$:

$$\left.\begin{array}{l}\omega=2\,\pi\,\nu\;\rightarrow\;\nu=\dfrac{\omega}{2\,\pi}\\ \omega=40\,\pi\,\text{s}^{-1}\end{array}\right\}\rightarrow\;\nu=\frac{40\,\pi}{2\,\pi}\;\rightarrow\;\nu=20\,\text{Hz}$$

$$\left.\begin{array}{l}v=\dfrac{x}{t}\;\rightarrow\;v=\dfrac{\lambda}{T}=\lambda\,\nu\\ \left.\begin{array}{l}k=\dfrac{2\,\pi}{\lambda}\;\rightarrow\;\lambda=\dfrac{2\,\pi}{k}\\ k=2\,\pi\,\text{m}^{-1}\end{array}\right\}\rightarrow\;\lambda=\dfrac{2\,\pi}{2\,\pi}=1\,\text{m}\\ \nu=20\,\text{Hz}\end{array}\right\}\rightarrow\;v=1\cdot 20\;\rightarrow\;v=20\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

7. Nun medio homoxéneo e isótropo, unha fonte sonora produce, a unha distancia *r,* un son de 40 dB. Se a intensidade do son se fai 100 veces maior, a nova sonoridade, á mesma distancia, será: a) 50 dB ; b) 60 dB ; c) 70 dB.

SOL. **b**

$$\left.\begin{array}{l} S' = 10\cdot\log\dfrac{100\,I}{I_0} \rightarrow S' = 10\cdot\left(\log 100 + \log\dfrac{I}{I_0}\right) \\ S = 10\cdot\log\dfrac{I}{I_0} = 40\text{ dB} \rightarrow \log\dfrac{I}{I_0} = \dfrac{40}{10} \end{array}\right\} \rightarrow S' = 10\cdot\left(\log 100 + \dfrac{40}{10}\right) \rightarrow S' = 60\text{ dB}$$

8. Nun medio homoxéneo e isótropo, unha fonte sonora produce, a unha distancia de 1 m, un son de 40 dB. A unha distancia de 10 m, a sonoridade será: a) 10 dB; b) 20 dB; c) 30 dB.

SOL. **b**

A sonoridade S diminúe coa distancia r ó foco emisor segundo a expresión:

$$\left.\begin{array}{l} S = 10\cdot\log\dfrac{I}{I_0} \\ \dfrac{I}{I_0} = \dfrac{r_0^2}{r^2} \end{array}\right\} \rightarrow S = 10\cdot\log\dfrac{r_0^2}{r^2}$$

$$\left.\begin{array}{l} S = 10\cdot\log\dfrac{r_0^2}{1^2} \\ S' = 10\cdot\log\dfrac{r_0^2}{10^2} \end{array}\right\} \rightarrow S - S' = 10\cdot\left(\log\dfrac{r_0^2}{1^2} - \log\dfrac{r_0^2}{10^2}\right) = 10\cdot\log\dfrac{\dfrac{r_0^2}{1^2}}{\dfrac{r_0^2}{10^2}} = 10\cdot\log 100 = 20\text{ dB}$$

$$40 - S' = 20 \rightarrow \text{S}' = 20\text{ dB}$$

9. O chifre dunha locomotora emite un son de 435 Hz de frecuencia. Se a locomotora móvese achegándose a un observador en repouso, a frecuencia percibida polo observador é: a) 435 Hz; b) maior ca 435 Hz; c) menor ca 435 Hz.

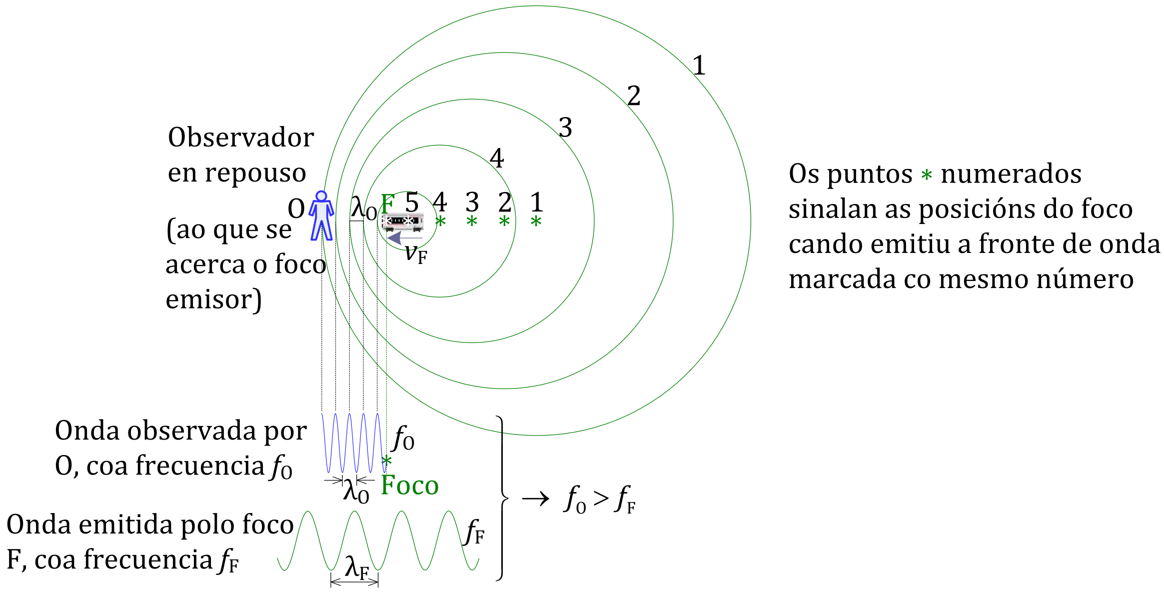
SOL. **b**

Cando o foco emisor de ondas e e/ou o observador están en movemento relativo con respecto ao medio en que a onda se propaga, a frecuencia das ondas observadas é distinta da frecuencia das ondas emitidas. Este cambio de frecuencia recibe o nome de **efecto Doppler**.

A relación da frecuencia f_0, que aparece no efecto Doppler, percibida polo observador, que permanece en repouso, coa frecuencia f_F do foco emisor, que se acerca ó observador coa celeridade v_F, vén dada pola expresión:

$\dfrac{f_0}{f_F} = \dfrac{v}{v - v_F}$, sendo v a rapidez da onda no medio en que se propaga.

Desta expresión vemos que $f_0 > f_F$.



10. Un ciclista desprázase en liña recta por unha estrada a velocidade constante. Nesta estrada hai dous coches parados, un diante, C1, e outro detrás, C2, do ciclista. Os coches teñen bucinas idénticas pero o ciclista sentirá que a frecuencia das bucinas é: a) maior a de C1; b) a mesma; c) maior a de C2.

SOL. **b**

Cando o foco emisor de ondas e e/ou o observador están en movemento relativo con respecto ao medio en que a onda se propaga, a frecuencia das ondas observadas é distinta da frecuencia das ondas emitidas. Este cambio de frecuencia recibe o nome de **efecto Doppler**. E a relación da frecuencia *f'* que aparece no efecto Doppler, percibida polo observador, coa frecuencia *f* do foco emisor, cando o observador se move con respecto ó foco, que permanece ne repouso, vén dada polas expresións:

- Cando o observador se acérca ao foco emisor, que permanece en repouso: $\frac{f'_{C1}}{f_{C1}} = \frac{v_{\text{onda no medio}} + v_{\text{Observador}}}{v_{\text{onda no medio}}}$
- Cando o observador se afasta do foco emisor, que permanece en repouso: $\frac{f'_{C2}}{f_{C2}} = \frac{v_{\text{onda no medio}} - v_{\text{Observador}}}{v_{\text{onda no medio}}}$

De comparar as anteriores expresións resulta que a frecuencia observada polo ciclista do son emitido pola bucina do coche C1, f'_{C1}, ao cal se acerca, é maior que a que observa do coche C2, f'_{C2}, do cal de afasta.