Ondes et physique moderne

Pré requis : Section 1.15

Le dauphin et le requin

Un dauphin se déplace dans l'eau en direction d'un requin immobile en criant à une fréquence de 12,52 kHz avec une puissance de 1,6 W. Les ondes sonores voyage dans l'eau à une vitesse de 1500 m/s. Le dauphin entend l'écho de ses cries à une fréquence de 12,58 kHz.

Sachant que le requin entend initialement le crie du dauphin à une intensité de 45 dB, combien de temps sera nécessaire avant le crie du dauphin soit à une intensité de 52 dB ?

P.S. On néglige l'effet de la vitesse du dauphin dans le calcul de la puissance sonore des cries du dauphin. On suppose également que le dauphin est une source sonore isotrope.

Solution :

Évaluons l'expression de la fréquence entendue par le requin :

$$f' = \left(\frac{v_s \pm v_r}{v_s \pm v_e}\right) f \quad \Rightarrow \quad f_\mathrm{r} = \left(\frac{v_s}{v_s \pm v_e}\right) f_\mathrm{d} \qquad \text{(Récepteur immobile)}$$

$$\Rightarrow \quad f_\mathrm{r} = \left(\frac{v_s}{v_s - v_e}\right) f_\mathrm{d} \qquad \text{(Émetteur vers le récepteur, signe négatif)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{f_\mathrm{r} = \left(\frac{v_s}{v_s - v}\right) f_\mathrm{d}} \qquad \text{(Remplacer } v_e = v \text{, la vitesse du dauphin)}$$

Évaluons l'expression de la fréquence de l'écho entendue par le dauphin :

$$f' = \left(\frac{v_s \pm v_r}{v_s \pm v_e}\right) f \quad \Rightarrow \quad f_\mathrm{e} = \left(\frac{v_s + v_r}{v_s \pm v_e}\right) f_\mathrm{r} \qquad \text{(Récepteur vers le son, signe positif)}$$

$$\Rightarrow \quad f_\mathrm{e} = \left(\frac{v_s + v_r}{v_s}\right) f_\mathrm{r} \qquad \text{(Émetteur immobile)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{f_\mathrm{e} = \left(\frac{v_s + v}{v_s}\right) f_\mathrm{r}} \qquad \text{(Remplacer } v_r = v \text{, la vitesse du dauphin)}$$

Ondes et physique moderne

Pré requis : Section 1.15

Évaluons la vitesse du dauphin dans le calcul de l'écho :

$$f_{\mathrm{e}} = \left(\frac{v_s + v}{v_s}\right) f_{\mathrm{r}} \quad \Rightarrow \quad f_{\mathrm{e}} = \left(\frac{v_s + v}{v_s}\right)\left(\frac{v_s}{v_s - v}\right) f_{\mathrm{d}} \qquad \text{(Remplacer } f_{\mathrm{r}} = \left(\frac{v_s}{v_s - v}\right) f_{\mathrm{d}}\text{)}$$

$$\Rightarrow \quad f_{\mathrm{e}} = \left(\frac{v_s + v}{v_s - v}\right) f_{\mathrm{d}} \qquad \text{(Simplification)}$$

$$\Rightarrow \quad f_{\mathrm{e}}\left(v_s - v\right) = \left(v_s + v\right) f_{\mathrm{d}}$$

$$\Rightarrow \quad f_{\mathrm{e}} v_s - f_{\mathrm{e}} v = f_{\mathrm{d}} v_s + f_{\mathrm{d}} v$$

$$\Rightarrow \quad f_{\mathrm{e}} v_s - f_{\mathrm{d}} v_s = f_{\mathrm{d}} v + f_{\mathrm{e}} v$$

$$\Rightarrow \quad v_s\left(f_{\mathrm{e}} - f_{\mathrm{d}}\right) = v\left(f_{\mathrm{d}} + f_{\mathrm{e}}\right)$$

$$\Rightarrow \quad v = v_s \, \frac{f_{\mathrm{e}} - f_{\mathrm{d}}}{f_{\mathrm{d}} + f_{\mathrm{e}}}$$

$$\Rightarrow \quad v = \left(1500\,\mathrm{m/s}\right) \frac{\left(12{,}58\times 10^3\,\mathrm{Hz}\right) - \left(12{,}52\times 10^3\,\mathrm{Hz}\right)}{\left(12{,}52\times 10^3\,\mathrm{Hz}\right) + \left(12{,}58\times 10^3\,\mathrm{Hz}\right)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{v = 3{,}5856\ \mathrm{m/s}} \qquad \text{(environ 12,90 km/h)}$$

Évaluons l'intensité initiale et finale entendue par le requin en $\mathrm{W/m^2}$:

$$\beta = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \Rightarrow \quad \frac{\beta}{10} = \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

$$\Rightarrow \quad 10^{\frac{\beta}{10}} = \frac{I}{I_0}$$

$$\Rightarrow \quad I = I_0 * 10^{\frac{\beta}{10}}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{I = \left(1\times 10^{-12}\right) * 10^{\frac{\beta}{10}}}$$

Nous avons :

- $I_i = \left(1\times 10^{-12}\,\mathrm{W/m^2}\right) * 10^{\frac{(45\,\mathrm{dB})}{10}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{I_i = 3{,}1622\times 10^{-8}\,\mathrm{W/m^2}}$
- $I_f = \left(1\times 10^{-12}\,\mathrm{W/m^2}\right) * 10^{\frac{(52\,\mathrm{dB})}{10}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{I_f = 1{,}585\times 10^{-7}\,\mathrm{W/m^2}}$

Ondes et physique moderne

Pré requis : Section 1.15

Évaluons la distance entre le dauphin et le requin initialement et finalement :

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt{\frac{P}{4\pi I}}$$

Nous avons :

- $$r_i = \sqrt{\frac{(1,6\,\text{W})}{4\pi\left(3,1622\times 10^{-8}\,\text{W/m}^2\right)}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{r_i = 2006,6\ \text{m}}$$
- $$r_f = \sqrt{\frac{(1,6\,\text{W})}{4\pi\left(1,585\times 10^{-7}\,\text{W/m}^2\right)}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{r_f = 896,3\ \text{m}}$$

Évaluons le temps requis à l'aide de la vitesse du dauphin :

$$\Delta x = v\Delta t \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{\Delta x}{v}$$

$$\Rightarrow \quad \Delta t = \frac{\left(\left|r_f - r_i\right|\right)}{v}$$

$$\Rightarrow \quad \Delta t = \frac{\left|(896,3\,\text{m}) - (2006,6\,\text{m})\right|}{(3,5856\,\text{m/s})}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\Delta t = 309,65\ \text{s}}$$