Exercice 1 : Intensité sonore d'une enceinte

6 points

1) La puissance P se répartit sur une demi-sphère de rayon r, dont l'aire vaut la moitié de celle de la sphère : $S = \dfrac{4\,\pi\,r^2}{2} = 2\,\pi\,r^2$. D'où

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{2\,\pi\,r^2} = \frac{0{,}12\,\text{W}}{2\,\pi \times (1{,}0\,\text{m})^2} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{I = 1{,}9 \times 10^{-2}\,\text{W·m}^{-2}}$$

On garde la valeur non arrondie, $I = 1{,}91 \times 10^{-2}\,\text{W·m}^{-2}$, pour la suite.

2) Le niveau d'intensité sonore est défini par $L = 10\,\log\left(\dfrac{I}{I_0}\right)$:

$$L = 10\,\log\left(\frac{1{,}91 \times 10^{-2}\,\text{W·m}^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-12}\,\text{W·m}^{-2}}\right) \quad \Longrightarrow \quad \boxed{L = 103\,\text{dB}}$$

3) À la distance $r' = 2{,}0\,\text{m}$:

$$I' = \frac{P}{2\,\pi\,r'^2} = \frac{0{,}12\,\text{W}}{2\,\pi \times (2{,}0\,\text{m})^2} = 4{,}8 \times 10^{-3}\,\text{W·m}^{-2}$$

(valeur non arrondie $I' = 4{,}77 \times 10^{-3}\,\text{W·m}^{-2}$ gardée pour la suite)

$$L' = 10\,\log\left(\frac{I'}{I_0}\right) = 10\,\log\left(\frac{4{,}77 \times 10^{-3}\,\text{W·m}^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-12}\,\text{W·m}^{-2}}\right) \quad \Longrightarrow \quad \boxed{L' = 97\,\text{dB}}$$

L'atténuation est la diminution du niveau d'intensité sonore :

$$A = L - L' = 103\,\text{dB} - 97\,\text{dB} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{A = 6\,\text{dB}}$$

Remarque : $A = 10\,\log\left(\dfrac{I}{I'}\right) = 10\,\log\left(\dfrac{r'^2}{r^2}\right) = 10\,\log 4 \approx 6{,}0\,\text{dB}$: quand on double la distance, le niveau baisse de $6\,\text{dB}$, quelle que soit la puissance de la source.

4) On cherche d'abord l'intensité sonore I'' qui correspond à $L'' = 90\,\text{dB}$. De $L'' = 10\,\log\left(\dfrac{I''}{I_0}\right)$, on tire

$$I'' = I_0 \times 10^{L''/10} = 1{,}0 \times 10^{-12}\,\text{W·m}^{-2} \times 10^{9} = 1{,}0 \times 10^{-3}\,\text{W·m}^{-2}.$$

Puis, de $I'' = \dfrac{P}{2\,\pi\,r''^2}$, on tire

$$r'' = \sqrt{\frac{P}{2\,\pi\,I''}} = \sqrt{\frac{0{,}12\,\text{W}}{2\,\pi \times 1{,}0 \times 10^{-3}\,\text{W·m}^{-2}}} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{r'' = 4{,}4\,\text{m}}$$

Il faut se placer à $4{,}4\,\text{m}$ environ de l'enceinte. C'est cohérent : le niveau ($90\,\text{dB}$) est plus faible qu'à $2{,}0\,\text{m}$ ($97\,\text{dB}$), il faut donc s'éloigner davantage.

Exercice 2 : Longueur d'onde d'un pointeur laser

5 points

1) Sur le schéma, θ est l'angle entre l'axe du faisceau et la droite qui joint l'ouverture au bord de la tache centrale. Dans le triangle rectangle formé par l'axe, l'écran et cette droite, le côté opposé à θ vaut $\dfrac{\ell}{2}$ et le côté adjacent vaut D :

$$\tan\theta = \frac{\ell/2}{D} = \frac{\ell}{2\,D}, \quad \text{et, l'angle étant petit,} \quad \theta \approx \frac{\ell}{2\,D}.$$

D'après les données, avec un diamètre $d = 2\,r$: $\theta = 1{,}22\,\dfrac{\lambda_\mathrm{R}}{2\,r}$. En égalant les deux expressions de θ :

$$1{,}22\,\frac{\lambda_\mathrm{R}}{2\,r} = \frac{\ell}{2\,D} \quad\Longrightarrow\quad \boxed{\lambda_\mathrm{R} = \frac{r\,\ell}{1{,}22\,D}}$$

2) On mesure à la règle, sur la figure 1, la longueur b_mes de la barre d'échelle et le diamètre ℓ_mes de la tache centrale, pris entre les milieux du premier anneau sombre. La barre représente $1\,\mathrm{cm}$ sur l'écran, d'où

$$\ell = \frac{\ell_\mathrm{mes}}{b_\mathrm{mes}} \times 1\,\mathrm{cm} \approx 2{,}0\,\mathrm{cm}$$

(si la figure est imprimée en vraie grandeur, on mesure $b_\mathrm{mes} = 1{,}0\,\mathrm{cm}$ et $\ell_\mathrm{mes} = 2{,}0\,\mathrm{cm}$). Selon le bord retenu, une valeur de ℓ comprise dans l'intervalle $1{,}9\,\mathrm{cm}$ à $2{,}2\,\mathrm{cm}$ est acceptée.

$$\lambda_\mathrm{R} = \frac{r\,\ell}{1{,}22\,D} = \frac{0{,}20\times10^{-3}\,\mathrm{m}\times 2{,}0\times10^{-2}\,\mathrm{m}}{1{,}22\times 5{,}0\,\mathrm{m}} \quad\Longrightarrow\quad \boxed{\lambda_\mathrm{R} = 6{,}6\times10^{-7}\,\mathrm{m} = 660\,\mathrm{nm}}$$

(Valeur non arrondie : $656\,\mathrm{nm}$. Pour ℓ dans l'intervalle $1{,}9\,\mathrm{cm}$ à $2{,}2\,\mathrm{cm}$, on trouve λ_R dans l'intervalle $620\,\mathrm{nm}$ à $720\,\mathrm{nm}$.) Cette valeur appartient bien au domaine du rouge, ce qui est cohérent avec la couleur du faisceau.

3) D'après la question 1, $\ell = \dfrac{1{,}22\,\lambda\,D}{r}$: à r et D fixés, la largeur de la tache centrale est proportionnelle à la longueur d'onde. Or $\lambda_\mathrm{V} = 405\,\mathrm{nm} < \lambda_\mathrm{R}$: la tache centrale est **moins large**.

Ordre de grandeur : $\ell_\mathrm{V} = \ell \times \dfrac{\lambda_\mathrm{V}}{\lambda_\mathrm{R}} = 2{,}0\,\mathrm{cm} \times \dfrac{405}{656} \approx 1{,}2\,\mathrm{cm}.$

Exercice 3 : Interférences lumineuses

4 points

1) On compare la différence de chemin optique à la longueur d'onde :

$$\frac{\Delta L}{\lambda_0} = \frac{1{,}26\times10^{-6}\,\mathrm{m}}{630\times10^{-9}\,\mathrm{m}} = 2{,}00$$

$\Delta L = 2\,\lambda_0$ est un multiple entier de la longueur d'onde : les deux ondes arrivent en P en phase, les interférences y sont constructives. On observe en P une **frange brillante**.

(Si l'on avait trouvé $\Delta L = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda_0$, avec k entier, les ondes seraient arrivées en opposition de phase : frange sombre.)

2) Au centre d'une frange brillante, les interférences sont constructives : $\Delta L = k\,\lambda_0$, avec k entier relatif. Avec $\Delta L = \dfrac{b\,x}{D}$, l'abscisse x_k du centre de la frange brillante d'ordre k vérifie

$$\frac{b\,x_k}{D} = k\,\lambda_0 \quad \Longrightarrow \quad x_k = \frac{k\,\lambda_0\,D}{b}.$$

L'interfrange est la distance entre les centres de deux franges brillantes consécutives, d'ordres k et $k+1$:

$$i = x_{k+1} - x_k = \frac{(k+1)\,\lambda_0\,D}{b} - \frac{k\,\lambda_0\,D}{b} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{i = \frac{\lambda_0\,D}{b}}$$

Application (non demandée) : $i = \dfrac{630\times10^{-9}\,\text{m}\times 2{,}00\,\text{m}}{0{,}20\times10^{-3}\,\text{m}} = 6{,}3\times10^{-3}\,\text{m}$, soit $6{,}3\,\text{mm}$; le point P, d'ordre 2, est à $x = 2\,i = 12{,}6\,\text{mm}$ de O.

Exercice 4 : Cinémomètre Doppler

5 points

1) Quand la source d'une onde et le récepteur se déplacent l'un par rapport à l'autre, le récepteur ne mesure pas la fréquence de la source : c'est l'effet Doppler. Exemple : la sirène d'une ambulance semble plus aiguë quand elle approche, plus grave quand elle s'éloigne.

Le décalage Doppler $\Delta f = f_\text{R} - f_\text{E}$ est positif à l'approche et négatif à l'éloignement ; sa valeur absolue augmente avec la vitesse relative, ce qui permet de mesurer une vitesse.

2) Chaque cercle est un front d'onde réfléchi par C ; le plus grand a été émis le premier. Son centre est le plus à gauche, et les centres des cercles suivants, de plus en plus petits, se décalent vers la droite : C se déplace vers B.

Conséquence : les fronts sont tassés du côté de B (longueur d'onde reçue plus courte, donc fréquence reçue plus grande, puisque $f = \dfrac{c}{\lambda}$: c'est l'approche) et étirés du côté de A (éloignement).

La cible s'approche du cinémomètre : **le cinémomètre est situé au point B**.

3) **a.** De $f_\text{D} = \dfrac{2\,f_0\,v_\text{r}}{c}$, on tire $v_\text{r} = \dfrac{c\,f_\text{D}}{2\,f_0}$, avec $f_0 = 24{,}125\,\text{GHz} = 24{,}125\times10^9\,\text{Hz}$:

$$v_\text{r} = \frac{3{,}00\times10^8\,\text{m·s}^{-1}\times 9\,650\,\text{Hz}}{2\times24{,}125\times10^9\,\text{Hz}} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{v_\text{r} = 60{,}0\,\text{m·s}^{-1}}$$

b. Pour convertir en km·h^{-1}, on multiplie par 3,6 ($1\,\text{m·s}^{-1} = 3{,}6\,\text{km·h}^{-1}$) :

$$v_\text{r} = 60{,}0\times3{,}6 = 216\,\text{km·h}^{-1}$$

On retrouve la vitesse affichée sur le tableau de service : le résultat est **cohérent**.