Correction du DM n°2 – TS2 2012
Caractéristiques & propriétés des ondes

Exercice 1 – N°34 p. 58 - L'oreille humaine en concert

1. La hauteur d'un son est la perception physiologique correspondant à la fréquence du fondamental de ce son. Ainsi on distingue les sons graves (fréquence du fondamental plus faible) des sons aigus (fréquence du fondamental plus forte).

2. On mesure la période T du son sur le plus grand nombre de périodes possible, afin de gagner en précision :

$$T = \frac{8,0}{4} = 2,0 \text{ ms}$$

On en déduit la fréquence f :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,0 \times 10^{-3}} = 5,0 \times 10^{2} \text{ Hz}$$

3. Pour passer de l'enregistrement 1 à l'enregistrement 2, le signal a été amplifié : la forme et la période du signal sont inchangées, l'amplitude du signal a augmenté de 2,0 V à 5,0 V.
À l'écoute le son sera donc 2,5 fois plus intense (« DJ fait péter mon sonotone »).

4. Sur le spectre Tension $= f$(fréquence) de l'enregistrement 3, il faut trouver le fondamental. C'est le pic n°1 de plus basse fréquence f_1, et tel que les fréquences f_2, f_3, etc. des pics n°2, n°3, etc. soient multiples entiers de la fréquence du fondamental f_1. Lu sur le spectre :

$$\begin{aligned} f_1 &= 500 \text{ Hz} \\ f_2 &= 1\,000 \text{ Hz} \\ f_3 &= 1\,500 \text{ Hz} \\ \ldots &= \ldots \end{aligned}$$

$$\frac{f_2}{f_1} = 2 \quad ; \quad \frac{f_3}{f_1} = 3 \quad ; \quad \text{etc.}$$

Donc on a bien la même fréquence du fondamental que sur les enregistrements 1 et 2.

5. Les sons des enregistrements 1 et 2 sont sinusoïdaux, ce sont des sons purs, leur spectre ne présente qu'un seul pic, le fondamental à $f_1 = 500$ Hz.

En revanche le son de l'enregistrement 3 est complexe, il n'est pas sinusoïdal, son spectre présente plusieurs harmoniques.

Physiologiquement la différence est perceptible à l'oreille, c'est le timbre du son, qui permet en particulier de reconnaître l'instrument ou le musicien à l'origine de la performance acoustique.

6. Le niveau sonore $L = 96$ dB (*level* L en anglais) est lié à l'intensité sonore I et à l'intensité sonore de référence I_0 par :

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Isolons l'intensité sonore I par quelques manipulations algébriques élémentaires :

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow \quad & \log \frac{I}{I_0} = \frac{L}{10} \\ \Leftrightarrow \quad & \frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L}{10}} \\ \Leftrightarrow \quad & I = I_0\, 10^{\frac{L}{10}} \end{aligned}$$

Application numérique :

$$\begin{aligned} & I = 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{98}{10}} \\ \Rightarrow \quad & I = 6,3 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

7. Avec dix enceintes, l'intensité sonore est multipliée par dix, si les enceintes sont toutes disposées à égale distance du lieu d'écoute (typiquement, en cercle autour du spectateur) :

$$I_2 = 10 \cdot I = 6,3 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Le niveau d'écoute L_2 est donné par :

$$L_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0}$$

$$L_2 = 10 \times \log \frac{6,3 \times 10^{-2}}{1,0 \times 10^{-12}}$$

$$L_2 = 108 \text{ dB}$$

i.e., multiplier l'intensité sonore par dix ajoute dix déciBels au niveau sonore.

8. L'intensité sonore I est liée à la puissance sonore $\mathscr{P}$ émise par l'enceinte acoustique et à la surface S sur laquelle se disperse le son :

$$I = \frac{\mathscr{P}}{S}$$

À priori, la surface atteinte par le son est une sphère de rayon R, centrée sur l'enceinte acoustique :

$$S = 4\pi R^2 \quad \Rightarrow \quad I = \frac{\mathscr{P}}{4\pi R^2}$$

Si la distance à la source sonore est divisée par deux, l'intensité acoustique est multipliée par quatre :

$$R' = \frac{R}{2} \quad \Rightarrow \quad (R')^2 = \frac{R^2}{4}$$

$$\Rightarrow \quad I' = \frac{\mathscr{P}}{4\pi (R')^2} = \frac{\mathscr{P}}{\pi R^2}$$

$$\Rightarrow \quad I' = 4I$$

Si l'intensité acoustique est multipliée par quatre, le niveau acoustique est majoré de six déciBels environs :

$$L' = 10 \log \frac{I'}{I_0}$$
$$L' = 10 \log \frac{4I}{I_0}$$
$$L' = 10 \log \frac{I}{I_0} + 10 \log 4$$
$$L' = L + 10 \log 4$$
$$L' = L + 6{,}02 \qquad \text{c. q. f. d.}$$

Le seuil de danger (90 dB) est déjà dépassé dans une discothèque ou un concert. Le seuil de douleur est indiqué à 120 dB dans le document de l'énoncé, et :

$$\frac{120-108}{6} = 2 \quad \text{ou} \quad 108+6+6 = 120$$

Ainsi en divisant la distance deux fois la distance par deux, donc par quatre, on ajoute deux fois six décibels, pour atteindre le seuil de douleur, à une distance de :

$$\frac{16 \text{ m}}{4} = 4 \text{ m}$$

On peut mener le calcul précis (non exigé) :

$$L'' = 120 \text{ dB} \Rightarrow I'' = I_0 10^{\frac{L''}{10}} = 1{,}0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$I = \frac{\mathscr{P}}{4\pi R^2} \quad \text{et} \quad I'' = \frac{\mathscr{P}}{4\pi (R'')^2}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{I}{I''} = \frac{(R'')^2}{R^2}$$

$$\Rightarrow \quad R'' = R\sqrt{\frac{I}{I''}}$$

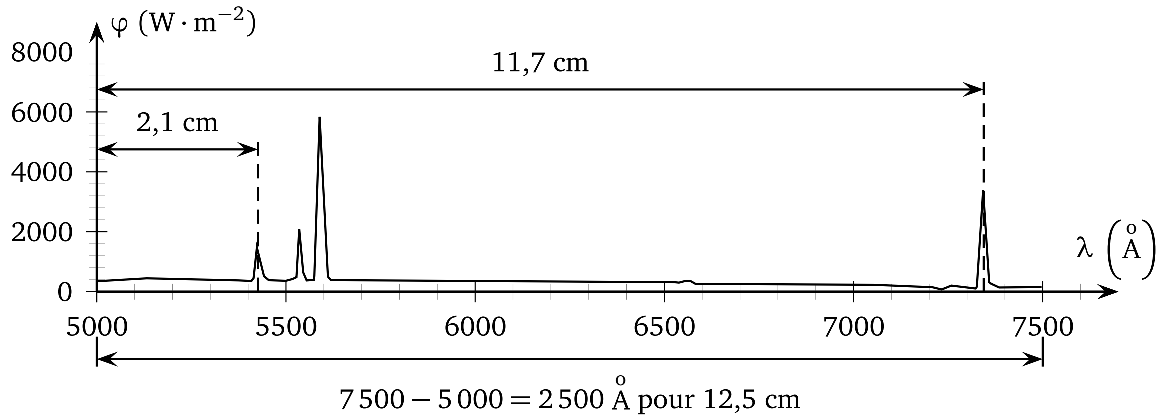
$$\Rightarrow \quad R'' = 16 \times \frac{6{,}3 \times 10^{-2}}{1{,}0} = 3{,}9 \text{ m}$$

9. Si l'exposition à un tel son est limité, les spectateurs risquent essentiellement de subir des acouphènes immédiatement après l'exposition. Si l'exposition est plus régulière, il y a un risque de perte d'audition définitive : les vibrations de l'air sont tellement intenses qu'elles cassent net les cellules sensibles qui captent les vibrations à l'intérieur de l'oreille.
Il faut donc prévoir une barrière empéchant les spectateurs de s'approcher à moins de quatre mètres environ des enceintes.

Exercice 2 – N°25 p. 80 – The Speed of Galaxy Q2125-431

1. Pour déterminer les longueurs d'onde observées (notées d'un indice 0) $\lambda_{0\alpha}$ et $\lambda_{0\beta}$ avec les plus de précision possible, on effectue une mesure très précise de la position des deux pics indiqués par les deux flèches, et on utilise toute la longueur de l'axe des abscisses comme échelle :

$$\begin{cases} \lambda_{0\beta} = 5\,000 + \dfrac{2{,}1}{12{,}5} \times 2\,500 = 5\,420 \text{ Å} \\ \lambda_{0\alpha} = 5\,000 + \dfrac{11{,}7}{12{,}5} \times 2\,500 = 7\,340 \text{ Å} \end{cases}$$



2. La formule donnant la vitesse v de l'objet par rapport à l'observateur est :

$$v = c \cdot \frac{\lambda_0 - \lambda_r}{\lambda_r}$$

où c est la célérité de la lumière dans le vide, λ_0 la longueur d'onde mesurée par l'observateur (émetteur en mouvement), et λ_r la longueur d'onde mesurée au repos (émetteur immobile). On applique cette formule aux deux raies mesurées ici (on peut laisser les longueurs d'onde en Angstroms dans la fraction) :

$$\begin{cases} v_\beta = 2{,}997\,92 \times 10^8 \times \dfrac{5\,420 - 5\,007}{5\,007} \\ v_\alpha = 2{,}997\,92 \times 10^8 \times \dfrac{7\,340 - 6\,563}{6\,563} \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_\beta = 2{,}473 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 2{,}473 \times 10^4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \\ v_\alpha = 3{,}549 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 3{,}549 \times 10^4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \end{cases}$$

donc en moyenne $v = 3{,}011 \times 10^4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, environ 30 000 km/s.

3. La longueur d'onde a augmenté, la vitesse est positive, la galaxie s'éloigne de la Terre. Ceci confirme l'expansion de l'Univers.

Grille DM2 TS2 2013

N°34 p. 58 – L'oreille **.../15**

- ❑ Physiologie associée à fréquence du fondamental
- ❑ $T = 2,0$ ms sur plusieurs périodes
- ❑ $f = 1/T = 5,0 \times 10^2$ Hz
- ❑ Signal amplifié + Amplitude augmentée
- ❑ Mêmes fondamentaux entre les deux spectres
- ❑ Fondamental vérifié par f_n/f_1 entier
- ❑ Son pur $\neq$ son complexe, timbres différents
- ❑ $I = I_0 10^{L/10}$ démontré
- ❑ $I = 6,3 \times 10^{-3}\ W \cdot m^{-2}$
- ❑ $I_2 = 10 \cdot I$, expliqué
- ❑ $L_2 = 10 \log I_2/I_0 = 108$ dB
- ❑ $R' = R/2 \quad \Rightarrow \quad I' = 4I$ justifié
- ❑ $L' = L + 6,02$ dB calculé
- ❑ Ajouter deux fois 6 dB donc 4 m
- ❑ Surdité

N°25 p. 80 – Galaxy **.../9**

- ❑ Réponses en Anglais !
- ❑ Réponses en Anglais !
- ❑ $\lambda_{0\beta} = 5\,420 \pm 270$ Å ($\pm 5\,\%$)
- ❑ $\lambda_{0\alpha} = 7\,340 \pm 370$ Å ($\pm 5\,\%$)
- ❑ Détermination précise expliquée
- ❑ $v\beta = 2,473 \times 10^4\ km \cdot s^{-1}$
- ❑ $v\alpha = 3,549 \times 10^4\ km \cdot s^{-1}$
- ❑ $v \nearrow$ et $\lambda \nearrow$, la galaxie s'éloigne
- ❑ Expansion de l'Univers

Total .../24

Note **.../20**

Grille DM2 TS2 2013

N°34 p. 58 – L'oreille **.../15**

- ❑ Physiologie associée à fréquence du fondamental
- ❑ $T = 2,0$ ms sur plusieurs périodes
- ❑ $f = 1/T = 5,0 \times 10^2$ Hz
- ❑ Signal amplifié + Amplitude augmentée
- ❑ Mêmes fondamentaux entre les deux spectres
- ❑ Fondamental vérifié par f_n/f_1 entier
- ❑ Son pur $\neq$ son complexe, timbres différents
- ❑ $I = I_0 10^{L/10}$ démontré
- ❑ $I = 6,3 \times 10^{-3}\ W \cdot m^{-2}$
- ❑ $I_2 = 10 \cdot I$, expliqué
- ❑ $L_2 = 10 \log I_2/I_0 = 108$ dB
- ❑ $R' = R/2 \quad \Rightarrow \quad I' = 4I$ justifié
- ❑ $L' = L + 6,02$ dB calculé
- ❑ Ajouter deux fois 6 dB donc 4 m
- ❑ Surdité

N°25 p. 80 – Galaxy **.../9**

- ❑ Réponses en Anglais !
- ❑ Réponses en Anglais !
- ❑ $\lambda_{0\beta} = 5\,420 \pm 270$ Å ($\pm 5\,\%$)
- ❑ $\lambda_{0\alpha} = 7\,340 \pm 370$ Å ($\pm 5\,\%$)
- ❑ Détermination précise expliquée
- ❑ $v\beta = 2,473 \times 10^4\ km \cdot s^{-1}$
- ❑ $v\alpha = 3,549 \times 10^4\ km \cdot s^{-1}$
- ❑ $v \nearrow$ et $\lambda \nearrow$, la galaxie s'éloigne
- ❑ Expansion de l'Univers

Total .../24

Note **.../20**