EXERCICES SUR L´EFFET DOPPLER

Exercice 23 p.67 :

Si la voiture se rapproche de l'auto-stoppeur fixe :

$v_R = 0 m \times s^{-1}$ et $f_R = \dfrac{v}{v - v_E} \times f_E$

Application numérique : $V_E = 90 km \times h^{-1} = \dfrac{90{,}0 \times 10^3}{3600} = 25 m \times s^{-1}$

Alors : $f_R = \dfrac{340}{340 - 25} \times 400 = 432 Hz$

b. Si la voiture se rapproche de l'autostoppeur :

$f_R = \dfrac{v}{v + v_E} \times f_E = \dfrac{340}{340 + 25} \times 400 = 373 Hz$

c. La variation relative de la fréquence est au minimum de 13,5 %, ce qui est supérieur à l'écart de 6 % correspondant à un demi-ton entre deux notes. La différence est perceptible.

Exercice 27 p.70 :

O se rapprochant de l'observateur terrestre : $f_{récepteur} > f_{source}$ et donc $\lambda_{récepteur} < \lambda_{source}$

La partie correspondant à O est donc décalée vers les courtes longueurs d'onde. La partie supérieure de la raie correspond à O. Celle du centre, qui ne subit donc pas de décalage, correspond à S car ce point n'a pas de mouvement relatif par rapport à la terre suivant la direction de visée :

$$f_{récepteur} = f_{source}$$

La raie en bordure supérieure est décalée de 3 pixels vers la gauche ($\lambda' < \lambda$) : ainsi, le décalage de longueur d'onde est telle que :

$\lambda' = \lambda + \Delta\lambda$ avec $\Delta\lambda = -3 \times 0{,}099 = -0{,}30$ nm
$\lambda' = \lambda + \Delta\lambda = 658{,}4 - 0{,}30 = 658{,}1$ nm

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \Leftrightarrow v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \times c = \frac{0{,}30 \times 10^{-9}}{658{,}4 \times 10^{-9}} \times 3{,}00 \times 10^8 = 1{,}4 \times 10^5 m \times s^{-1}$$

BAC BLANC : EFFET DOPPLER

Christian Doppler, savant autrichien, propose en 1842 une explication de la modification de la fréquence du son perçu par un observateur immobile lorsque la source sonore est en mouvement.

On se propose de présenter ici l'effet Doppler puis de l'illustrer au travers d'une application.

1) Mouvement relatif d'une source sonore et d'un détecteur

Nous nous intéressons dans un premier temps au changement de fréquence associé au mouvement relatif d'une source sonore S et d'un détecteur placé au point M (figure 1). Le référentiel d'étude est le référentiel terrestre dans lequel le détecteur est immobile. Une source S émet des « bips » sonores à intervalles de temps réguliers dont la période d'émission est notée T_0. Le signal sonore se propage à la célérité v_{son} par rapport au référentiel terrestre.

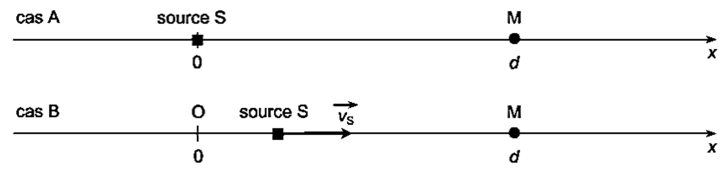


Figure 1. Schéma représentant une source sonore immobile (cas A), puis en mouvement (cas B).

1.1. Cas A : la source S est immobile en $x = 0$ et le détecteur M, situé à la distance d, perçoit chaque bip sonore avec un retard lié à la durée de propagation du signal.

1.1.1. Définir par une phrase, en utilisant l'expression « bips sonores», la fréquence f_0 de ce signal périodique.

1.1.2. Comparer la période temporelle T des bips sonores perçus par le détecteur à la période d'émission T_0.

1.2. Cas B : la source S, initialement en $x = 0$, se déplace à une vitesse constante v_s suivant l'axe Ox en direction du détecteur immobile. La vitesse v_s est inférieure à la célérité v_{son}.
On suppose que la source reste à gauche du détecteur.

Le détecteur perçoit alors les différents bips séparés d'une durée : $T' = T_0\left(1 - \dfrac{v_S}{v_{son}}\right)$

Indiquer si la fréquence f' des bips perçus par le détecteur est inférieure ou supérieure à la fréquence f_0 avec laquelle les bips sont émis par la source S. Justifier.

2. Détermination de la vitesse d'un hélicoptère par effet Doppler

On s'intéresse à un son émis par un hélicoptère et perçu par un observateur immobile. La valeur de la fréquence de l'onde sonore émise par l'hélicoptère est $f_0 = 8{,}1 \times 10^2$ Hz.
On se place dans le référentiel terrestre pour toute la suite de cette partie.

Les portions de cercles des figures 2 et 3 donnent les maxima d'amplitude de l'onde sonore à un instant donné. Le point A schématise l'hélicoptère. Dans le cas de la figure 2, l'hélicoptère est immobile. Dans le cas de la figure 3, il se déplace à vitesse constante le long de l'axe et vers l'observateur placé au point O. La célérité du son dans l'air est indépendante de sa fréquence.

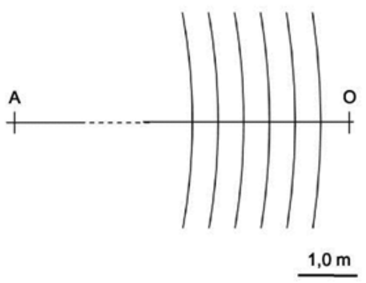


Figure 2. L'hélicoptère est immobile.

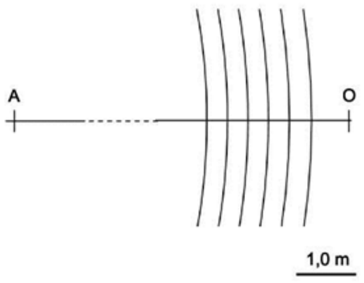


Figure 3. L'hélicoptère est en mouvement.

2.1. Déterminer, avec un maximum de précision, la longueur d'onde λ_0 de l'onde sonore perçue par l'observateur lorsque l'hélicoptère est immobile, puis la longueur d'onde λ' lorsque l'hélicoptère est en mouvement rectiligne uniforme.

2.2. En déduire une estimation de la valeur de la célérité de l'onde sonore.
Commenter la valeur obtenue.

2.3. Déterminer la fréquence du son perçu par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement.
Cette valeur est-elle en accord avec le résultat de la question 1.2. ?
Comment la perception du son est-elle modifiée ?

2.4. En déduire la valeur de la vitesse de l'hélicoptère. Cette valeur vous paraît-elle réaliste ?

CORRECTION :

1) Mouvement relatif d'une source sonore et d'un détecteur

1.1.

.1.1. C'est le nombre de bips sonores par seconde.
.1.2. Les deux périodes sont égales car la source est au repos : pas d'effet Doppler.

1.2. Comme $v_s < v_{son}$ alors $\frac{v_s}{v_{son}} < 1$, ainsi $\left(1-\frac{v_s}{v_{son}}\right) < 1$ et comme $T' = T_0.\left(1-\frac{v_s}{v_{son}}\right)$ alors $T' < T_0$.

Soit $\frac{1}{T'} > \frac{1}{T_0}$

Enfin comme $f = \frac{1}{T}$, on a $f' > f_0$ La fréquence perçue f' est supérieure à la fréquence émise f_0.

Remarque : ce résultat est conforme à l'observation de la vie quotidienne, le son de l'hélicoptère semble plus aigu à l'approche.

2. Détermination de la vitesse d'un hélicoptère par effet Doppler

2.1. On mesure la distance correspondant à plusieurs longueurs d'onde pour avoir un maximum de précision. Les valeurs mesurées correspondent à une impression faite en A4, elles peuvent varier en fonction du format d'impression.

Sur la Figure 4, on a 5λ = 2,6 cm donc $\lambda_0 = \frac{2,6}{5}$ = 0,52 cm. Il faut tenir compte de l'échelle.

1,2 cm schéma → 1,0 m en réalité
Donc 0,52 cm schéma → λ_0 m en réalité

$\lambda_0 = \frac{1,0 \times 0,52}{1,2}$ = 0,43 m en conservant que deux chiffres significatifs vu le manque de précision.

Même raisonnement pour la figure 5 :

Sur la Figure 5, on a $5\lambda'$ = 2,1 cm donc $\lambda' = \frac{2,1}{5}$ = 0,42 cm. Il faut tenir compte de l'échelle.

1,2 cm schéma → 1,0 m en réalité
Donc 0,42 cm schéma → λ' m en réalité

$\lambda' = \frac{1,0 \times 0,42}{1,2}$ = 0,35 m.

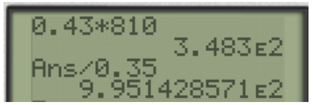
2.2. On a $\lambda_0 = \frac{v_{son}}{f_0}$ donc $v_{son} = \lambda_0 \cdot f_0$

$v_{son} = 0,43 \times 8,1 \times 10^2 = 3,483 \times 10^2$ m.s^{-1} = $3,5 \times 10^2$ m.s^{-1} avec 2 CS.
On sait que la célérité du son dans l'air est plus proche de 340 m.s^{-1} en général.
On a pu commettre une légère erreur de mesure sur la mesure de λ_0 ou l'altitude de l'hélicoptère joue sur la célérité du son.

2.3. Grâce à la figure 5, on a λ' = 0,35 m et on utilise la valeur précédente de la célérité (l'énoncé précise que la célérité est indépendante de la fréquence).

$\lambda' = \frac{v_{son}}{f'}$ donc $f' = \frac{v_{son}}{\lambda'} = \frac{\lambda_0.f_0}{\lambda'}$

$f' = \frac{0,43 \times 8,1 \times 10^2}{0,35} = 1,0 \times 10^3$ Hz $> f_0$



Tout comme à la question 1.2. on constate que la fréquence perçue est supérieure à la fréquence émise.
Le son émis par l'hélicoptère paraît plus aigu lorsque ce dernier s'approche de l'observateur.

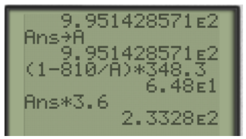
2.4. On prend la formule donnée en début de sujet $T' = T_0.\left(1-\frac{v_s}{v_{son}}\right)$

$\frac{T'}{T_0} = 1-\frac{v_s}{v_{son}}$ donc : $\frac{v_s}{v_{son}} = 1-\frac{T'}{T_0}$

$v_s = \left(1-\frac{T'}{T_0}\right).v_{son}$

$v_s = \left(1-\frac{\frac{1}{f'}}{\frac{1}{f_0}}\right).v_{son}$, $v_s = \left(1-\frac{f_0}{f'}\right).v_{son}$

$v_s = \left(1-\frac{8,1\times10^2}{9,9514\times10^2}\right)\times 3,483\times10^2$ = 64,8 m.s^{-1} = 65 m.s^{-1}



En multipliant par 3,6, on obtient v_s = 233 km.h^{-1}. Cette valeur semble réaliste pour un hélicoptère.

VITESSE D'UNE GALAXIE

Dans cet exercice, on se propose de déterminer la vitesse d'éloignement d'une galaxie puis sa distance par rapport à un observateur terrestre. Le spectre de la galaxie ainsi que le spectre de référence sont donnés en fin d'exercice.

La relation entre λ_0, la longueur d'onde de référence mesurée en observant une source immobile, et λ', la longueur d'onde mesurée en observant la même source s'éloignant à la vitesse *v s'écrit :*

$$\lambda' = \lambda_0(1 + \frac{v}{c})$$

Vitesse de la lumière dans le vide : c = 3,00.10^8 m.s^{-1}

1) En quoi les spectres montrent-ils que la galaxie TGS153Z170 s'éloigne de nous ?

2) Calculez la valeur de la vitesse de la galaxie TGS153Z170 en travaillant avec les valeurs de la raie H_β des spectres.

3) Rechercher les longueurs d'onde des raies H_α, H_β et H_γ pour le spectre de l'hydrogène (de référence) et les longueurs d'onde de ces mêmes raies sur celui de la galaxie TGS153Z170. Compléter les deux premières colonnes du tableau (sur le sujet).

Nom de la raie	**Longueur d'onde de référence λ_0 (nm)**	**Longueur d'onde mesurée λ' (nm)**	**Décalage spectral relatif *z***
H_α			
H_β			
H_γ			

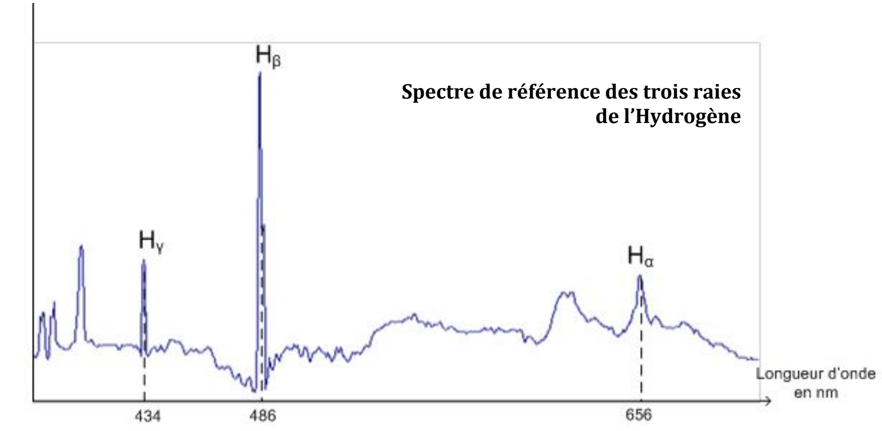
4) On définit le décalage spectral relatif *z* défini par la relation donnée ci-dessous. On montre que <u>*z* ne dépend pas de la raie choisie</u>. Compléter la troisième colonne du tableau (sur le sujet).

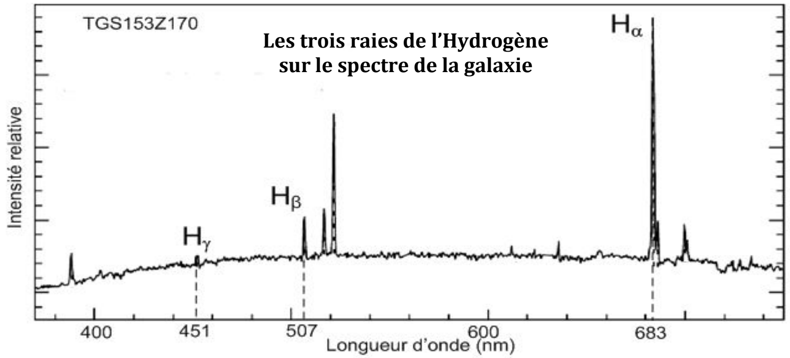
$$z = \frac{\lambda' - \lambda_0}{\lambda_0}$$

5) En déduire la meilleure estimation de *z* pour la galaxie TGS153Z170.

6) Montrez que $z = \frac{v}{c}$

7) Calculez la nouvelle valeur de la vitesse d'éloignement de la galaxie. Expliquez pourquoi cette valeur est plus pertinente que celle calculée à la question 2).





CORRECTION :

1) Le spectre de la galaxie montre des valeurs de longueurs d'onde plus grandes que celles de référence pour les trois raies de l'hydrogène. Ceci correspond à une **fréquence perçue plus faible**. Cela correspond comme pour le son à un éloignement.

2) De la relation donnée dans le texte on déduit : $v = c \times (\frac{\lambda'}{\lambda_0} - 1)$

ou : $v = c \times (\frac{\lambda' - \lambda_0}{\lambda_0})$

La lecture des spectres donne les longueurs d'onde : v = $v = 3 \times 10^8 \times (\frac{507 - 486}{486})$=$\mathbf{1{,}30 \times 10^7}$ **m.s^{-1}**.

3) Voir tableau.

Nom de la raie	Longueur d'onde de référence λ_0 (nm)	Longueur d'onde mesurée λ' (nm)	Décalage spectral relatif z
H_α	656	683	4,12 10^{-2}
H_β	486	507	4,32 10^{-2}
H_γ	434	451	3,92 10^{-2}

4) $z = \frac{\lambda' - \lambda_0}{\lambda_0}$ On calcule z avec 3 chiffres significatifs (voir tableau).

5) Les valeurs de z étant très proches et ne dépendant pas de la raie choisie, on peut faire la moyenne des valeurs de z: z = 4,12 10^{-2}

6) z = $v = \frac{\lambda' - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\lambda'}{\lambda_0} - 1$

Or nous avons vu que :

$v = c \times (\frac{\lambda'}{\lambda_0} - 1)$ on en conclut que $v = c \times z$

Donc : $z = \frac{v}{c}$

7) v = $z \times c$ = 4,12 $10^{-2} \times 3{,}00 \times 10^8$ =$\mathbf{1{,}24 \times 10^7}$ **m/s**.

Cette valeur est plus pertinente que celle trouvée en 2) car elle est calculée à partir de trois raies et non pas d'une seule raie.