

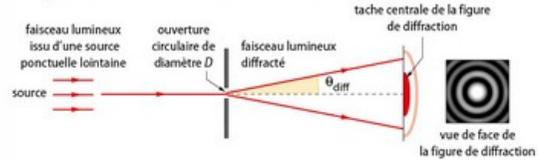
# Chapitre 10. Les phénomènes ondulatoires

## EXERCICES

### 21 Diffraction et astronomie

La première planète extrasolaire, dont on a pu faire une image par observation directe dans le proche infrarouge, s'appelle 2M1207b. Elle orbite à une distance estimée à 55 unités astronomiques (UA) autour de l'étoile 2M1207a, située à 230 années-lumière (al) de la Terre.

Actuellement, l'observation de détails avec un télescope terrestre est principalement limitée par le phénomène de diffraction lié à la valeur de l'ouverture circulaire  $D$  du télescope. Dans le cas d'une ouverture circulaire, on admet que l'angle caractéristique de diffraction  $\theta_{\text{diff}}$  (exprimé en radian) vérifie la relation  $\theta_{\text{diff}} = 1,22 \frac{\lambda}{D}$ , où  $\lambda$  est la longueur d'onde du faisceau incident et  $D$  le diamètre de l'ouverture.



**Données :** unité astronomique :  $1 \text{ UA} = 1,496 \times 10^{11} \text{ m}$  ; année-lumière :  $1 \text{ al} = 9,461 \times 10^{15} \text{ m}$  ; intervalle de longueur d'onde du proche infrarouge :  $[700 \text{ nm} ; 1 \text{ 000 nm}]$ .

1. Citer une propriété de la lumière qui explique le phénomène de diffraction.
2. Représenter par un schéma, sans souci d'échelle, l'angle  $\alpha$  sous lequel on voit le couple étoile-planète depuis la Terre. Calculer cet angle.
3. Un télescope permet de distinguer deux objets à condition que l'écart angulaire  $\alpha$  entre ces deux objets soit supérieur ou égal à l'angle caractéristique de diffraction. En 2024 l'Extremely Large Telescope aura un diamètre de 39 m. Estimer s'il permettra d'observer l'exoplanète sans être gêné par le phénomène de diffraction.

#### EXEMPLE DE RÉDACTION

1. a. Le phénomène de diffraction montre le **caractère ondulatoire** de la lumière.
2. Le schéma de l'angle sous lequel on voit le couple planète-étoile est le suivant.

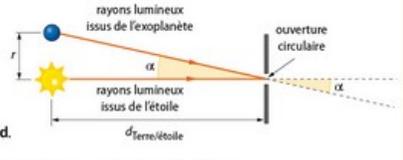
$$\tan \alpha = \alpha = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}} = \frac{r}{d_{\text{Terre-étoile}}}$$

$$\text{AN : } \alpha = \frac{55 \times 1,496 \times 10^{11}}{230 \times 9,461 \times 10^{15}} = 3,781 \times 10^{-6} \text{ rad.}$$

3. Calculons l'angle caractéristique de diffraction :

$$\theta_{\text{diff}} = 1,22 \frac{\lambda}{D} \quad \text{AN : } \theta_{\text{diff}} = 1,22 \times \frac{700 \times 10^{-9}}{39} = 2,2 \times 10^{-8} \text{ rad.}$$

Le phénomène de diffraction ne gêne pas la séparation de l'étoile et de son exoplanète car  $\alpha > \theta_{\text{diff}}$ .



#### LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- ▶ Les distances sont à convertir en mètres.
- ▶ Toutes les données sont nécessaires pour déterminer les caractéristiques du phénomène de diffraction.

#### LES VERBES D'ACTION

- ▶ **Citer :** indiquer une justification à une observation ou une affirmation.
- ▶ **Représenter :** rendre une situation perceptible par une figure.
- ▶ **Estimer :** calculer approximativement une distance, un angle...

#### QUELQUES CONSEILS

1. Se baser sur le titre du chapitre.
2. et 3. Il faut convertir les distances en mètres.
2. Les données sont exprimées avec 4 chiffres significatifs donc le résultat aussi.
3. Utiliser l'expression de l'angle de diffraction fournie.

### 23 L'effet Doppler et la musique

Lors de la répétition générale d'un ballet, une pianiste ponctue la fin du 1<sup>er</sup> acte en jouant une série de  $\text{La}_3$  successifs au cours desquels un danseur effectue un saut appelé « grand jeté » dans sa direction : il fait un bond jambes tendues de 1,9 m en 0,75 s. Après le baisser du rideau, le directeur artistique trouve le danseur et la pianiste en pleine discussion. Il a perçu des  $\text{La}_3$  successifs qui lui semblaient de hauteurs différentes et pense qu'elle n'a pas joué la même note. Elle conteste et affirme qu'elle a bien joué la même note.

Le seuil de variation de fréquence que l'oreille humaine est capable de percevoir est appelée *seuil différentiel relatif*,  $S_{\text{dr}}$ . La variation de fréquence perçue est décelable si la variation relative des fréquences entre ces deux sons, notée  $\frac{\Delta f}{f}$ , est supérieure ou égale à ce seuil  $S_{\text{dr}}$ . Pour une oreille entraînée, par exemple par plusieurs années d'études musicales, il vaut environ 1/1 000 quelle que soit la fréquence du son.

**Données :** célérité du son dans l'air :  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Fréquence (Hz)	$\text{Sol}_3$	$\text{La}_3$	$\text{Si}_3$
	392	440	494

1. Déterminer la vitesse moyenne du danseur au cours de son « grand jeté ».
2. a. En utilisant le décalage Doppler, calculer la fréquence perçue par le danseur en mouvement. Expliquer en détail votre raisonnement et votre calcul.  
b. Sachant que le danseur a une oreille entraînée par des années d'études musicales, justifier l'origine du désaccord entre la pianiste et le danseur.

#### EXEMPLE DE RÉDACTION

1. On applique la définition de la vitesse :  $v = \frac{d}{\Delta t}$ .  
AN :  $v = \frac{1,9}{0,75} = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . La vitesse du danseur vaut donc **2,5 m · s<sup>-1</sup>**.

2. a. Le décalage Doppler s'écrit :  $\Delta f = f \cdot \frac{v}{c_{\text{son}}}$ . AN :  $\Delta f = 440 \times \frac{2,5}{340} = 3,3 \text{ Hz}$ .  
Comme il s'approche de la pianiste, la fréquence perçue est plus grande : donc  $f_R = f + \Delta f$ . Soit  $f_R = 443 \text{ Hz}$ .

b. On calcule  $\frac{\Delta f}{f} = \frac{3,3}{440} = 7,5 \times 10^{-3}$ . Étant donné que cette variation relative de fréquence est supérieure au seuil  $S_{\text{dr}}$ , qui vaut  $\frac{1}{1000}$ , le danseur ayant une oreille entraînée, va percevoir cette variation de fréquence d'où le désaccord avec la pianiste immobile qui perçoit bien le  $\text{La}_3$  à 440 Hz.

▶ On donne la distance et la durée du saut, utile pour calculer la vitesse.  
▶ Bien exploiter les informations, elles sont utiles à la résolution.

#### LES VERBES D'ACTION

- ▶ **Déterminer :** mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- ▶ **Calculer :** Effectuer un calcul numérique.
- ▶ **Justifier :** établir le bien-fondé de l'argumentation.

#### QUELQUES CONSEILS

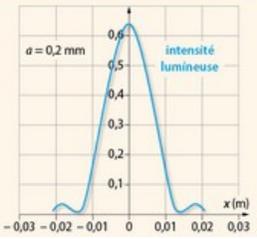
1. Il faut conserver le résultat exact du calcul de la calculatrice pour s'en resservir dans le calcul suivant. On se limitera à 2 chiffres significatifs en raison des données.
2. a. Exploiter la relation du décalage Doppler. Ne garder qu'un chiffre significatif. Mais le réutiliser pour le prochain calcul.  
b. Comparer  $\frac{\Delta f}{f}$  et le seuil  $S_{\text{dr}} = \frac{1}{1000} = 1 \times 10^{-3}$ .

#### EXERCICE SIMILAIRE

### 22 Diffraction dans un télescope

Lorsqu'on observe une étoile à travers un télescope, l'image apparaît sous la forme d'une tache, dont la dimension est liée aux défauts de l'instrument, tels que la diffraction par l'ouverture limitée. On réalise le montage de diffraction dans lequel un laser correspond à l'étoile et le miroir du télescope est modélisé par une ouverture circulaire de diamètre  $a$  produisant un phénomène de diffraction.

1. Décrire le phénomène de diffraction.
2. Quel caractère de la lumière est mis en évidence ici ?
3. À partir des résultats expérimentaux, déterminer la valeur du diamètre  $d_{\text{Airy}}$  de la tache centrale de diffraction observée pour cette ouverture.

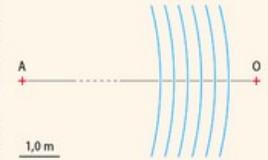


#### EXERCICE SIMILAIRE

### 24 Vitesse d'un hélicoptère

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  $f_0 = 8,10 \times 10^2 \text{ Hz}$ . Les portions de cercles de la figure ci-contre donnent les maxima d'amplitude de l'onde sonore à un instant donné. Le point A schématise l'hélicoptère. L'hélicoptère se déplace à vitesse constante le long de l'axe et vers l'observateur placé au point O. La célérité du son vaut  $c_{\text{son}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

1. Déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  perçue par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement rectiligne uniforme. En déduire la fréquence perçue par l'observateur.
2. Estimer la valeur de la vitesse de l'hélicoptère en utilisant l'expression du décalage Doppler.



**CORRECTION Exercice 22**

- 22** 1. La diffraction : onde qui traverse une ouverture change de direction de propagation sans modification de longueur d'onde.
2. La diffraction met en évidence le caractère ondulatoire de la lumière.
3.  $d_{\text{Airy}} = 0,028 \text{ m} = 2,8 \text{ cm}$ .

**CORRECTION Exercice 24**

- 24** 1. Pour  $5\lambda$ , on mesure 1,25 cm, soit  $\lambda = 0,25 \text{ cm}$  sur le papier. Mais l'échelle fournie indique que 0,7 cm représente 1 m.

$$\lambda = \frac{0,25 \times 1}{0,7} = 0,357 \text{ m}.$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{340}{0,35} = 952 \text{ Hz}.$$

2. En utilisant le décalage Doppler,

$$\Delta f = \frac{f \cdot v}{c}, \text{ on peut isoler } v = \frac{\Delta f \cdot c}{f}$$

$$\text{AN : } v = \frac{(952 - 810) \times 340}{810} = 59,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \\ = 215 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}.$$