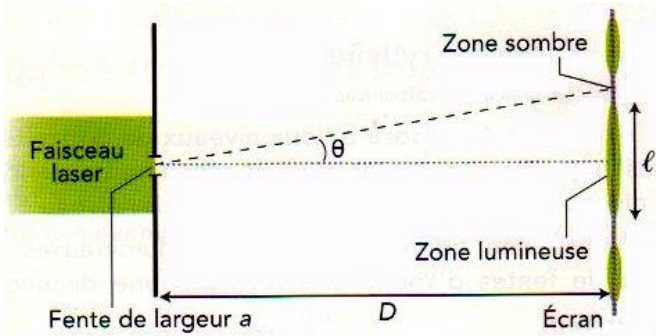


DM. EXERCICE résolu. Ch.3. Propriétés des ondes**Exercice1. Type BAC. Caractère ondulatoire de la lumière**

On réalise une expérience en utilisant un laser, une fente de largeur réglable et un écran blanc. Le dispositif est représenté ci-contre : Les mesures de la largeur de la fente a , de la distance de la fente à l'écran D et de la largeur de la zone lumineuse centrale l conduisent aux résultats suivants :

$a = (0,200 \pm 0,005) \text{ mm}$; $D = (2,00 \pm 0,01) \text{ m}$; $l = (12,6 \pm 0,1) \text{ mm}$

1. Quel est le nom du phénomène observé?
2. L'angle θ étant petit et exprimé en radian, on peut utiliser l'approximation $\tan \theta = \theta$. Calculer l'angle θ en radian.
- 3.a. Quelle est la relation liant l'angle θ , la longueur d'onde λ de la lumière et la largeur a de la fente ?

b. Calculer la longueur d'onde λ .

L'incertitude sur la mesure de la longueur d'onde λ est évaluée par :

$$U(\lambda) = \lambda \cdot \sqrt{\left(\frac{U(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{U(l)}{l}\right)^2 + \left(\frac{U(D)}{D}\right)^2}$$

- c. Calculer l'incertitude $U(\lambda)$ sur la longueur d'onde du laser.
 - d. En déduire un encadrement de la valeur expérimentale de la valeur expérimentale de λ .
4. Quelle est la relation entre λ , c (célérité de la lumière dans le vide) et ν (fréquence de la radiation lumineuse) ? Indiquer leurs unités dans le système international.
 5. a. Exprimer la relation entre l et λ .
 - b. Quelles sont approximativement les longueurs d'onde dans le vide des radiations bleues et rouges?
 - c. Indiquer comment varie la largeur l lorsqu'on :
 - remplace le laser émettant une lumière rouge par un laser émettant une lumière bleue?
 - diminue la largeur de la fente a ?

1. Nom du phénomène observé : Le phénomène observé est la diffraction de la lumière.

2. Relations de trigonométrie dans le triangle rectangle : $\tan \theta = \frac{l}{2D} = \frac{l}{2D}$ or $\tan \theta \approx \theta$ (approximation des petits angles)

donc : $\theta = \frac{l}{2D}$ A.N. : $\theta = \frac{12,6 \cdot 10^{-3}}{2 \times 2,00} = \underline{3,15 \cdot 10^{-3} \text{ rad}}$

3.a. Relation liant l'angle θ , la longueur d'onde λ de la lumière et la largeur a de la fente : $\theta = \frac{\lambda}{a}$

θ : demi-angle de diffraction en rad (demi-ouverture angulaire de la tache centrale) ;

λ : longueur d'onde (m) ;

a : largeur de la fente fine verticale (m).

L'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde aux dimensions de l'ouverture (ou de l'obstacle).

3.b. Calcul de la longueur d'onde λ : $\theta = \frac{\lambda}{a}$ donc $\lambda = \theta \cdot a$ A.N. : $\lambda = 3,15 \cdot 10^{-3} \times 0,200 \cdot 10^{-3} = 6,30 \cdot 10^{-7} \text{ m} = \underline{630 \text{ nm}}$.

3.c. Calcul de l'incertitude $U(\lambda)$ sur la longueur d'onde du laser : On a

$$U(\lambda) = \lambda \cdot \sqrt{\left(\frac{U(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{U(l)}{l}\right)^2 + \left(\frac{U(D)}{D}\right)^2}$$

or $U(a) = 0,005 \text{ mm}$ et $a = 0,200 \text{ mm}$; $U(l) = 0,1 \text{ mm}$ et $l = 12,6 \text{ mm}$; $U(D) = 0,01 \text{ m}$ et $D = 2,00 \text{ m}$; $\lambda = 630 \text{ nm}$
 $U(\lambda) = 16,8 \text{ nm}$ (3 chiffres significatifs).

$$U(\lambda) = 630 \sqrt{\left(\frac{0,005}{0,200}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{12,6}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{2,00}\right)^2} = 630 \times 0,0267 = 16,8 \text{ nm arrondi à } 20 \text{ nm}.$$

3.d. Encadrement de la valeur expérimentale de la valeur expérimentale de λ :

$\lambda = 630 \text{ nm}$; On a trouvé dans question 3.c. : $U(\lambda) = 20 \text{ nm}$ donc :

$\lambda = \underline{(630 \pm 20) \text{ nm}}$ qui s'écrit aussi : $(630 - 20) \text{ nm} \leq \lambda \leq (630 + 20) \text{ nm}$ soit
 $\underline{610 \text{ nm} \leq \lambda \leq 650 \text{ nm}}$

4. Relation entre λ , c (célérité de la lumière dans le vide) et ν (fréquence de la radiation lumineuse)

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{\nu} \quad \lambda : \text{longueur d'onde dans le vide de la radiation monochromatique (m)}$$

c : célérité de la lumière dans le vide et ν : fréquence de la radiation monochromatique (Hz).

5.a. Relation entre l et λ . On a $\theta = \frac{\lambda}{a}$ et $\theta = \frac{l}{2D}$ donc $\frac{\lambda}{a} = \frac{l}{2D}$ soit $\underline{l = \frac{2 \cdot D \cdot \lambda}{a}}$

5.b. Quelles sont approximativement les longueurs d'onde dans le vide des radiations bleues et rouges ?

$\lambda_{\text{bleu}} \approx 400 \text{ nm}$ et $\lambda_{\text{rouge}} \approx 800 \text{ nm}$.

5.c. Indiquer comment varie la largeur l (largeur de la tache centrale lumineuse) : On part de $\underline{l = \frac{2 \cdot D \cdot \lambda}{a}}$

- Si on remplace le laser émettant une lumière rouge par un laser émettant une lumière bleue?

On a $\lambda_{\text{bleu}} < \lambda_{\text{rouge}}$ soit la longueur d'onde λ diminue donc $l_{\text{bleu}} < l_{\text{rouge}}$: l (largeur de la tache centrale) diminue.
 Si on diminue la longueur d'onde λ , alors θ diminue et la **largeur l de la tache centrale diminue**.

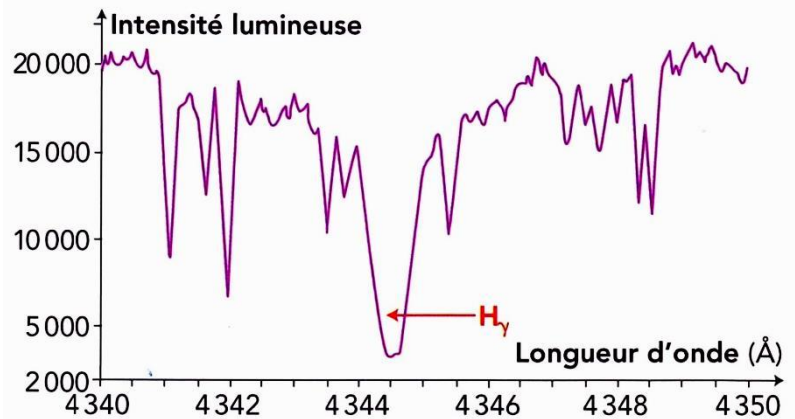
- Si diminue la largeur de la fente a ?

Si on diminue la largeur a de la fente, alors θ augmente donc la **largeur l de la zone centrale augmente**.

Exercice 2. Spectre d'une étoile lointaine

Compétences : Exploiter un graphique, calculer, raisonner.

Le graphique ci-contre représente le spectre de l'étoile HD45282 entre 4340 et 4350 Å. On a repéré le pic correspondant à la raie H_{γ} , l'hydrogène dont la longueur d'onde de référence est $\lambda_r = 4\,340,47$ Å.



1. Que représentent les pics de ce graphe ?
2. Quelle est la longueur d'onde observée λ du pic correspondant à l'hydrogène dans le spectre étudié ?
3. Calculer la vitesse radiale de l'étoile HD45282 à partir de l'expression de Doppler-Fizeau :

$$v = c \cdot \frac{\lambda - \lambda_r}{\lambda_r} \quad \text{avec } c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

4. a. Le décalage est-il observé vers le bleu (*blueshift*) ou vers le rouge (*redshift*) ?
 - b. Quel phénomène intervient ? L'étoile s'éloigne-t-elle ou s'approche-t-elle de la Terre ?
- Donnée : $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$.

Correction :

1. Que représentent les pics de ce graphe ?

Il s'agit du spectre de la lumière émise par l'étoile HD45282. Les molécules ou atomes qui forment l'**atmosphère de l'étoile absorbent certaines radiations**. Les pics correspondent donc à l'absorption de radiations par l'atmosphère de l'étoile. À chaque absorption correspond un pic sur le spectre.

2. Longueur d'onde observée λ du pic correspondant à l'hydrogène dans le spectre étudié

Par lecture graphique : $\lambda = 4344,5 \text{ Å} = 434,45 \text{ nm}$

3. Calcul de la vitesse radiale de l'étoile HD45282

Lorsque la source est mobile : $v = c \cdot \frac{\lambda - \lambda_r}{\lambda_r}$ avec
 $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\lambda = 4344,5 \text{ Å} = 434,45 \text{ nm}$; $\lambda_r = 4340,47 \text{ Å} = 434,047 \text{ nm}$

$$v = 3 \cdot 10^8 \cdot \frac{4344,5 - 4340,47}{4340,47} = 2,79 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

$$\underline{\underline{v = 2,79 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}}$$

4.a. Le décalage est-il observé vers le bleu (*blueshift*) ou vers le rouge (*redshift*) ?

La longueur d'onde observée $\lambda = 4344 \text{ Å} = 434,4 \text{ nm}$ est supérieure à la longueur d'onde de référence $\lambda_r = 4340,47 \text{ Å} = 434,047 \text{ nm}$. Le décalage a lieu vers les grandes longueurs d'onde, c'est-à-dire vers le rouge.

4.b. Quel phénomène intervient ? L'étoile s'éloigne-t-elle ou s'approche-t-elle de la Terre?

Il s'agit de l'effet **Doppler en astronomie**. Cela se traduit par un décalage de la fréquence dans le spectre d'absorption lorsque une étoile se rapproche ou s'éloigne de la terre. Ici, le spectre se décale vers le rouge (augmentation de la longueur d'onde donc diminution de la fréquence). Cela indique que l'étoile s'éloigne de la Terre : effet « redshift ».

