

PS80 : Sujet d'entraînement corrigé — Microscopie

1 Microscope optique (10 pts)

1. L'oculaire et l'objectif ont des vergences positives, ce sont donc des lentilles convergentes. Leurs distances focales respectives valent :

$$\overline{f'_1} = V_1^{-1} \quad ; \quad \overline{f'_2} = V_2^{-1}$$

Application numérique : $\overline{f'_1} = 1 \text{ cm}$ et $\overline{f'_2} = 5 \text{ cm}$.

2. Schéma du microscope : cf. feuille quadrillée jointe.

3. L'angle θ sous lequel est vu le globule rouge à l'œil nu, à la distance d_m , vaut :

$$\theta \simeq \tan \theta = \frac{d}{d_m}$$

Application numérique : $\theta = 2.10^{-6} \text{ rad}$.

4. L'image finale $\overline{A'B'}$ se trouve à l'infini si et seulement si l'image intermédiaire $\overline{A_1B_1}$ se trouve au plan focal objet de L_2 .

5. La formule de conjugaison de la lentille mince L_1 s'écrit :

$$-\frac{1}{\overline{O_1A}} + \frac{1}{\overline{O_1A_1}} = \frac{1}{\overline{f'_1}}$$

Le globule rouge se trouve donc à la distance :

$$\overline{O_1A} = \left(\frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{\overline{f'_1}} \right)^{-1}$$

$$\text{ssi } \overline{O_1A} = \frac{\overline{O_1A_1} \cdot \overline{f'_1}}{\overline{f'_1} - \overline{O_1A_1}}$$

$$\text{ssi } \overline{O_1A} = \frac{\overline{O_1F_2} \cdot \overline{f'_1}}{\overline{f'_1} - \overline{O_1F_2}}$$

$$\text{ssi } \overline{O_1A} = \frac{\overline{O_1F_2} \cdot \overline{f'_1}}{\overline{F_2F'_1}}$$

Application numérique : $\overline{O_1A} = -1,06 \text{ cm}$.

6. Construction d'image : cf. schéma optique sur feuille quadrillée jointe.

7. Le grandissement transversal de l'objectif vaut :

$$\gamma_1 = \frac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}}$$

Application numérique : $\gamma_1 = -16$.

8. Le diamètre apparent de l'image finale est donné par :

$$\theta' \simeq \tan \theta' = \frac{A_1B_1}{O_2A_1} = \gamma_1 \frac{AB}{O_2A_1} = \gamma_1 \frac{AB}{\overline{f'_2}}$$

Application numérique : $\theta' = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$.

9. Le grossissement de ce microscope vaut donc :

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

Application numérique : $G = 80$.

2 Echographie Doppler (4 pts)

1. D'après la (2eme) loi de la réflexion de Snell-Descartes, l'angle du rayon incident avec la normale à la surface réfléchissante est égale à l'angle du rayon réfléchi avec la normale. S'il en est de même pour toutes les ondes, alors pour l'onde sonore atteignant l'interface entre 2 milieux : $i_i = i_r$.

D'après la (2eme) loi de la réfraction de Snell-Descartes, les angles des rayons (i_i et i_t) incident et réfracté avec la normale à la surface entre deux milieux d'indices n_1 et n_2 vérifient : $n_1 \sin i_i = n_2 \sin i_t$. Or, l'indice optique n_1 est défini par : $c_1 = c_0/n_1$ où c_0 est la célérité de la lumière dans le vide, et c_1 la célérité de la lumière dans le milieu d'indice n_1 . De même pour n_2 . Ainsi, la relation entre i_i et i_t peut s'écrire :

$$\frac{c_0}{c_1} \sin i_i = \frac{c_0}{c_2} \sin i_t \quad \text{ssi} \quad \frac{\sin i_i}{c_1} = \frac{\sin i_t}{c_2}$$

On en déduit, par analogie, que la même relation s'applique à l'onde sonore atteignant l'interface entre les 2 milieux.

2. La fréquence de l'onde reçue par le globule rouge (f_1) est liée à la fréquence f de l'onde émise par le débimètre :

$$f_1 = f \frac{c}{c - v \cos \alpha}$$

(en projetant la vitesse \vec{v} sur la direction de propagation de l'onde ultrasonore du débimètre).

De même, la fréquence f' de l'écho reçu par le débimètre est liée à la fréquence réémise par réflexion sur le globule rouge (aussi égale à f_1) par la relation :

$$f' = f_1 \frac{c}{c - v \cos \alpha}$$

Alors l'écart fréquentiel entre écho et onde émise s'écrit :

$$\Delta f = f' - f = f \left(\frac{c^2}{(c - v \cos \alpha)^2} - 1 \right) = f \frac{v^2 \cos^2 \alpha + 2vc \cos \alpha}{(c - v \cos \alpha)^2}$$

On peut considérer que $v \ll c$, ainsi on obtient la formule simplifiée de l'écart de fréquence :

$$\Delta f = f \frac{2v \cos \alpha}{c}$$
$$\text{ssi } v = \frac{c \cdot \Delta f}{2f \cdot \cos \alpha}$$

3. Avec les données de l'énoncé, la vitesse du globule rouge vaut : $v = 0,33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (ce qui est bien négligeable devant la célérité des ultrasons dans le sang).

Puis, en assimilant l'aorte à un tube de diamètre d on peut en déduire le débit sanguin :

$$D = \frac{\pi d^2 v}{4}$$

Application numérique : $D = 190 \text{ mm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

3 Diffraction de Bragg (6 pts)

1. La fréquence des rayons X est donnée par :

$$\nu = c_0/\lambda$$

Application numérique : $\nu = 3.10^{18} \text{ Hz}$.

2. "L'objet diffractant" (ou source secondaire) dans cette expérience est l'atome de nickel. D'où le choix des rayons X, dont la longueur d'onde est du même ordre de grandeur que la dimension typique de l'atome ($\sim 1 \text{ \AA}$).

3. La différence de marche entre les deux rayons réfléchis s'écrit : $\delta = 2d \sin \theta$. (en l'absence d'indication contraire, on peut supposer que l'expérience a lieu dans l'air ou dans le vide, dont l'indice optique vaut 1)

4. La condition pour obtenir des interférences constructives sur le plan du détecteur s'écrit : $\delta = k\lambda$, avec k un entier relatif.

5. On obtient la relation suivante entre d , λ et θ :

$$k\lambda = 2d \sin \theta \quad \text{ssi} \quad d = k \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

Au premier ordre de diffraction, ($k = 1$) et avec les données de l'énoncé, on obtient : $d = 2,14 \cdot 10^{-10} \text{ m}$.

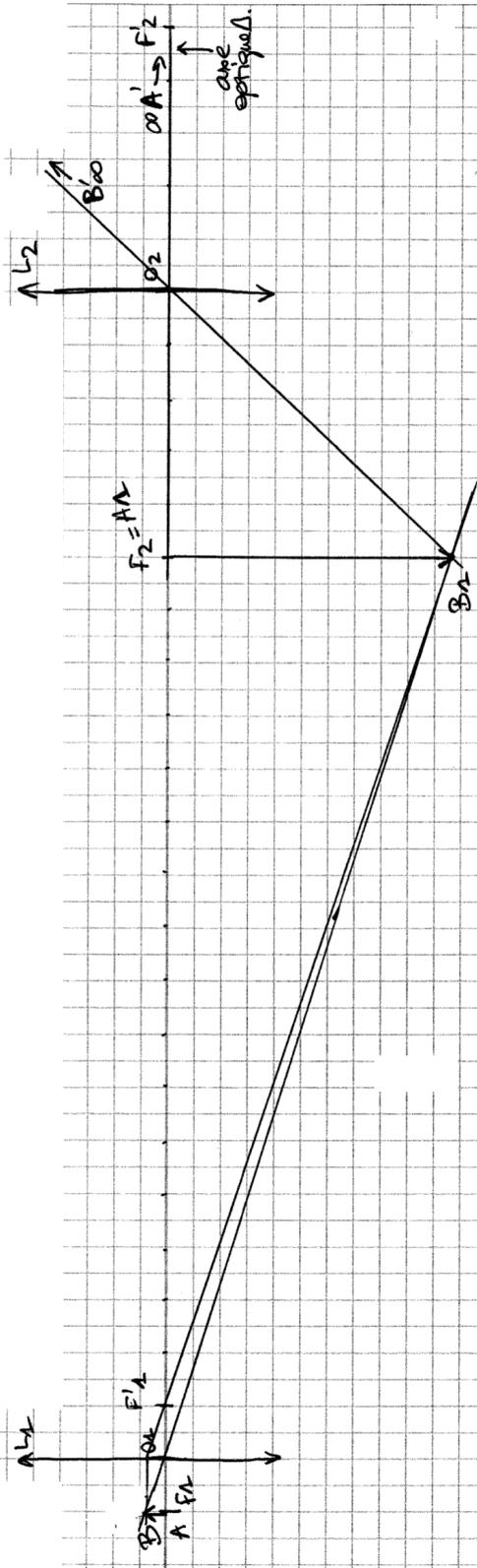
6. La quantité de mouvement p de chaque électron du faisceau est liée à la longueur d'onde λ du faisceau par la relation de De Broglie : $p = h/\lambda$.

L'énergie cinétique de chaque électron s'écrit alors :

$$E_c = \frac{1}{2} m_e v_e^2 = \frac{p^2}{2m_e} = \frac{1}{2m_e} \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2$$

Application numérique : $E_c = 2,42 \cdot 10^{-17} \text{ J} = 0,15 \text{ keV}$.

Schéma optique du microscope sur papier quadrillé.



Références : les exercices de ce sujet sont extraits des ouvrages suivants : *Physique et Chimie, Tle S*, Ed. Nathan (2012), *Objectif PCEM : Physique et Chimie générale*, Ed. Hachette (2006), *ABC du BAC, Physique Chimie, Tle S*, Ed. Nathan (2012).