La lumière, une onde électromagnétique

Bac S 2010 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 Donner la définition de la longueur d'onde.

La longueur d'onde λ est la distance dont l'onde progresse pendant une période T.

λ : distance parcourue par l'onde en une période (période spatiale de l'onde).

COMPRENDRE
Définition équivalente : plus petite distance séparant deux points du milieu qui vibrent en phase. L'une ou l'autre suffit.

1.1.2 Préciser l'unité de λ, puis choisir la ou les relations correctes parmi (a) $\lambda = \dfrac{c}{\nu}$, (b) $T = \dfrac{c}{\lambda}$ et (c) $\lambda = cT$.

λ est une longueur : elle s'exprime en mètre (m).

Analyse des unités, avec c en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$, T en s et ν en Hz, soit $\mathrm{s^{-1}}$:

- (a) $\dfrac{c}{\nu} : \dfrac{\mathrm{m \cdot s^{-1}}}{\mathrm{s^{-1}}} = \mathrm{m}$, une longueur : correcte ;
- (b) $\dfrac{c}{\lambda} : \dfrac{\mathrm{m \cdot s^{-1}}}{\mathrm{m}} = \mathrm{s^{-1}}$, ce n'est pas une durée : fausse ;
- (c) $cT : \mathrm{m \cdot s^{-1} \times s} = \mathrm{m}$, une longueur : correcte.

λ en mètre ; relations correctes : (a) et (c).

MÉTHODE
Pour trier des formules, remplacer chaque grandeur par son unité. Ici (a) et (c) disent la même chose puisque $\nu = \dfrac{1}{T}$.

1.2 Déterminer la fréquence, dans le vide, de la radiation émise par la lampe à vapeur de lithium.

Données utiles $\lambda = 571$ nm ; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

D'après la relation (a) : $\nu = \dfrac{c}{\lambda}$, avec $\lambda = 571 \times 10^{-9}$ m.

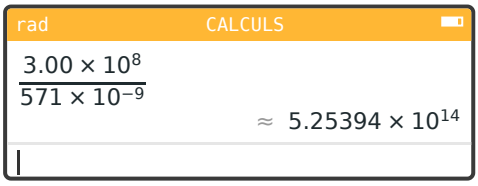
$$\nu = \frac{3{,}00 \times 10^8}{571 \times 10^{-9}} = 5{,}25 \times 10^{14}\ \mathrm{Hz}$$

$\nu = 5{,}25 \times 10^{14}$ Hz

PIÈGE
Laisser λ en nanomètre : la conversion en mètre est indispensable.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme pour c et λ.

À LA CALCULATRICE



1.3 Dans un milieu transparent d'indice n, un élève affirme : « la fréquence est inchangée et la longueur d'onde maintenant égale à 380 nm ». Ces affirmations sont-elles justes ou erronées ? Justifier.

Données utiles $n = 1{,}5$; $n = \frac{c}{v}$; $\lambda = 571$ nm dans le vide

La fréquence est imposée par la source : elle ne dépend pas du milieu traversé. La première affirmation est juste.

Dans le milieu, l'onde se propage à la célérité $v = \frac{c}{n}$. Sa longueur d'onde est alors

$$\lambda_n = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{\lambda}{n} = \frac{571}{1{,}5} = 381 \text{ nm}$$

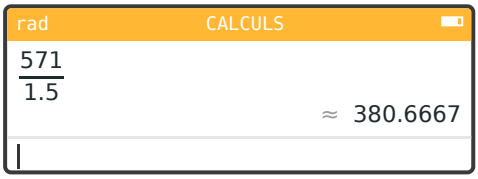
Comme n n'est donné qu'avec deux chiffres significatifs, $\lambda_n \approx 3{,}8 \times 10^2$ nm : la valeur de 380 nm annoncée par l'élève est acceptable.

Les deux affirmations sont justes : ν inchangée et $\lambda_n = \frac{\lambda}{n} \approx 3{,}8 \times 10^2$ nm.

PIÈGE
Répondre sans calcul. « Justifier » exige la relation $\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$ et la valeur numérique comparée à 380 nm.

COMPRENDRE
En entrant dans le verre, la lumière ralentit : la longueur d'onde diminue dans le même rapport que la célérité. La couleur, liée à la fréquence, ne change pas.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 Qu'appelle-t-on une lumière polychromatique ?

Une lumière polychromatique est constituée de plusieurs radiations, de fréquences (donc de longueurs d'onde dans le vide) différentes.

COMPRENDRE
À l'inverse, une lumière monochromatique ne contient qu'une seule radiation, caractérisée par une fréquence unique.

2.1.2 À quelles couleurs sont associées les longueurs d'onde correspondant aux limites du domaine visible ?

Le domaine visible s'étend, dans le vide, d'environ 400 nm à 800 nm.

400 nm : violet ; 800 nm : rouge.

COMPRENDRE
En dessous de 400 nm commence l'ultraviolet, au-dessus de 800 nm l'infrarouge.

2.1.3 À l'aide du graphique, déterminer les indices du prisme en verre pour ces longueurs d'onde limites.

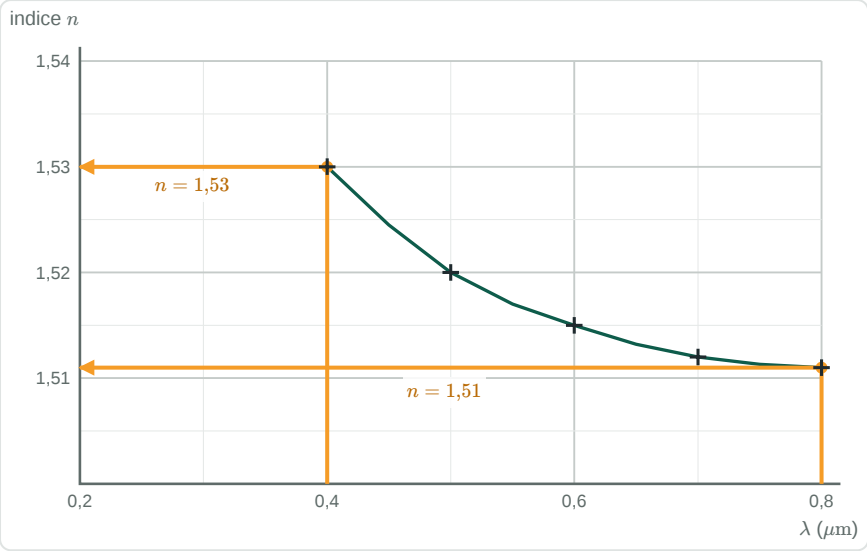
Données utiles limites du visible (2.1.2) : $0{,}4\ \mu$m et $0{,}8\ \mu$m

Sur le graphique, la longueur d'onde est en micromètre : $400 \text{ nm} = 0{,}4\ \mu\text{m}$ et $800 \text{ nm} = 0{,}8\ \mu\text{m}$.

On lit l'ordonnée des deux points extrêmes de la courbe.

Violet ($0{,}4\ \mu$m) : $n = 1{,}53$; rouge ($0{,}8\ \mu$m) : $n = 1{,}51$.

COMPRENDRE
L'indice diminue quand la longueur d'onde augmente : le verre est un milieu dispersif. C'est ce qui permet au prisme de séparer les radiations.



2.1.3 · Indice du verre en fonction de la longueur d'onde, avec les deux lectures

2.2.1.1 Déterminer l'angle de réfraction dans le prisme pour la radiation de longueur d'onde 440 nm, puis tracer approximativement le rayon réfracté sur la figure 1 de l'annexe.

Données utiles $i_1 = 45^\circ$; $n_1 = 1$; $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$; graphique : $n_2 \approx 1{,}53$ pour $0{,}44\ \mu$m

Pour $\lambda = 0{,}44\ \mu$m, le graphique donne un indice compris entre 1,52 et 1,53 : on retient $n_2 \approx 1{,}53$.

Loi de la réfraction en I : $\sin(i_2) = \dfrac{n_1 \sin(i_1)}{n_2}$

$$\sin(i_2) = \frac{1 \times \sin(45^\circ)}{1{,}53} = 0{,}462 \quad \text{donc} \quad i_2 = \arcsin(0{,}462) = 28^\circ$$

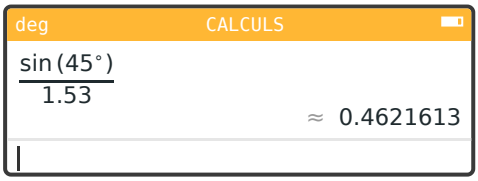
Tracé : le rayon réfracté part de I et fait un angle de 28° avec la normale, de l'autre côté de la face AB. Il se rapproche de la normale (voir la figure de la question 2.2.1.2).

$i_2 \approx 28^\circ$

PIÈGE
Calculatrice en radians, ou angle mesuré depuis la face du prisme. Les angles i_1 et i_2 se mesurent toujours par rapport à la normale.

COMPRENDRE
Avec $n_2 = 1{,}52$ on trouve 27,7° et avec 1,53 on trouve 27,5° : la lecture du graphique ne change pas le résultat arrondi à 28°.

À LA CALCULATRICE



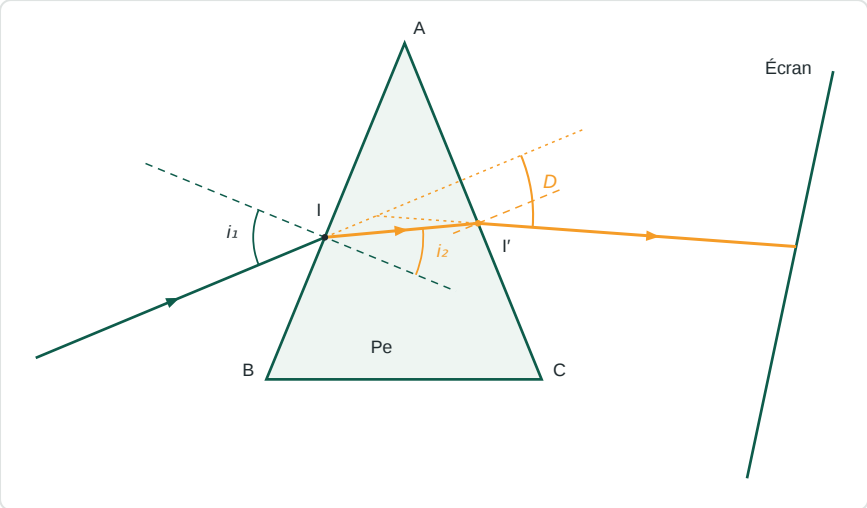
2.2.1.2 Compléter la marche du rayon lumineux après la réfraction en I′ sur la face AC, sur la figure 1 de l'annexe, et noter l'angle de déviation D.

Tracé qualitatif, aucun calcul n'est demandé :

- le rayon réfracté en I rencontre la face AC en I′ ; on y trace la normale à AC ;
- en I′, la lumière passe du verre à l'air, milieu moins réfringent : le rayon émergent s'écarte de la normale et se rabat vers la base BC ;
- on prolonge en pointillés le rayon incident en I : D est l'angle entre ce prolongement et le rayon émergent.

Voir la figure complétée : rayon émergent en I′ dévié vers la base, angle D entre la direction incidente et la direction émergente.

PIÈGE
Tracer le rayon émergent dans le prolongement du rayon intérieur, ou le relever vers le sommet A. Un prisme dévie toujours la lumière vers sa base.



2.2.1.2 · Figure 1 de l'annexe complétée : en orange, la marche du rayon et l'angle de déviation D

2.3 On enlève le filtre et on place un écran après le prisme. Que visualise-t-on sur l'écran lorsque le prisme reçoit toute la lumière de la lampe à vapeur de mercure ? Justifier.

Données utiles radiations intenses : 440 nm, 550 nm et 580 nm

L'indice du verre dépend de la longueur d'onde. D'après la loi de la réfraction, chaque radiation est donc réfractée, puis déviée, d'un angle D qui lui est propre : le prisme sépare les radiations.

La lumière ne contient que trois radiations intenses.

On observe sur l'écran trois raies colorées distinctes (violette, verte et jaune) : un spectre de raies.

COMPRENDRE
L'indice est le plus grand pour 440 nm : la raie violette est la plus déviée, donc la plus proche de la base. Les raies à 550 nm et 580 nm, d'indices voisins, sont proches l'une de l'autre.

3.1.1 Exprimer le quantum d'énergie associé à l'émission de la radiation de longueur d'onde $\lambda = 440$ nm.

L'énergie d'un photon est proportionnelle à la fréquence de la radiation : $E = h\,\nu$, avec $\nu = \dfrac{c}{\lambda}$.

$$E = h\,\nu = \frac{h\,c}{\lambda}$$

COMPRENDRE
« Quantum » : la lumière échange l'énergie par paquets indivisibles, les photons. Plus la longueur d'onde est courte, plus chaque photon est énergétique.

3.1.2 Calculer en joule, puis en électronvolt, l'énergie des photons associés.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; $\lambda = 440$ nm ; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

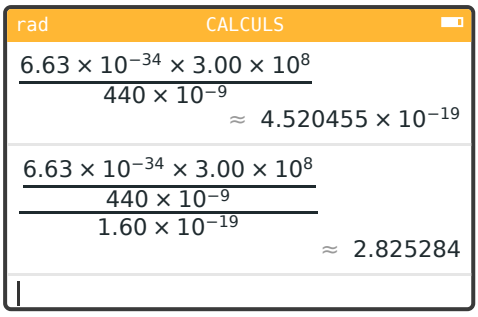
$$E = \frac{h\,c}{\lambda} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{440 \times 10^{-9}} = 4{,}52 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

Conversion : $E = \dfrac{4{,}52 \times 10^{-19}}{1{,}60 \times 10^{-19}} = 2{,}83\ \text{eV}$ (valeur non arrondie de E conservée dans la calculatrice).

$$E = 4{,}52 \times 10^{-19}\ \text{J} = 2{,}83\ \text{eV}$$

PIÈGE
Multiplier par $1{,}60 \times 10^{-19}$ au lieu de diviser. Contrôle : un photon visible a une énergie de 1,5 à 3 eV environ.

À LA CALCULATRICE



3.2 Comment interprète-t-on l'émission de photons par les atomes ?

Un atome ne possède que des niveaux d'énergie bien définis : son énergie est quantifiée.

Un atome excité qui passe d'un niveau d'énergie E_p à un niveau inférieur E_n cède l'énergie perdue en émettant un photon.

Transition d'un niveau E_p vers un niveau inférieur E_n : émission d'un photon d'énergie $h\,\nu = E_p - E_n$.

COMPRENDRE
Chaque écart entre deux niveaux donne une fréquence précise : le spectre d'émission est un spectre de raies, propre à l'élément. C'est ce qu'on observe à la question 2.3.