Lampe à vapeur de sodium

Bac S 2007 Polynésie rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Donner la composition de l'atome de sodium $^{23}_{11}\mathrm{Na}$.

$Z = 11$: le noyau contient 11 protons.

$A - Z = 23 - 11 = 12$: il contient 12 neutrons.

L'atome est électriquement neutre : il possède autant d'électrons que de protons.

Noyau : 11 protons et 12 neutrons ; autour du noyau : 11 électrons.

PIÈGE
Oublier les électrons : la question porte sur l'atome, pas seulement sur son noyau.

1.2 L'énergie de l'atome ne peut prendre que certaines valeurs. Comment la qualifie-t-on ? La mécanique de Newton permet-elle d'expliquer ces niveaux ?

L'énergie de l'atome est dite **quantifiée** : seules quelques valeurs discrètes sont possibles.

En mécanique de Newton, l'énergie d'un système peut varier de manière continue et prendre n'importe quelle valeur : elle ne prévoit pas de niveaux séparés.

Énergie quantifiée ; la mécanique de Newton ne l'explique pas.

1.3 Représenter par une flèche la transition entre les niveaux $n = 1$ et $n = 2$ dans le cas d'une émission, puis calculer la longueur d'onde λ de la radiation émise.

Données utiles $E_1 = -5{,}14$ eV ; $E_2 = -3{,}03$ eV ; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

En émission, l'atome perd de l'énergie : il descend du niveau $n = 2$ au niveau $n = 1$ (flèche vers le bas) et émet un photon d'énergie

$$E_2 - E_1 = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{donc} \quad \lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1}$$

$E_2 - E_1 = -3{,}03 - (-5{,}14) = 2{,}11$ eV, à convertir en joules :

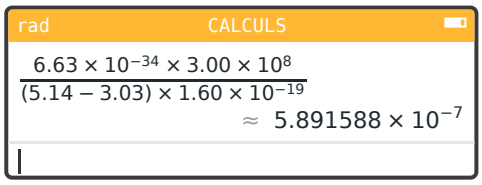
$$\lambda = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{2{,}11 \times 1{,}60 \times 10^{-19}} = 5{,}89 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

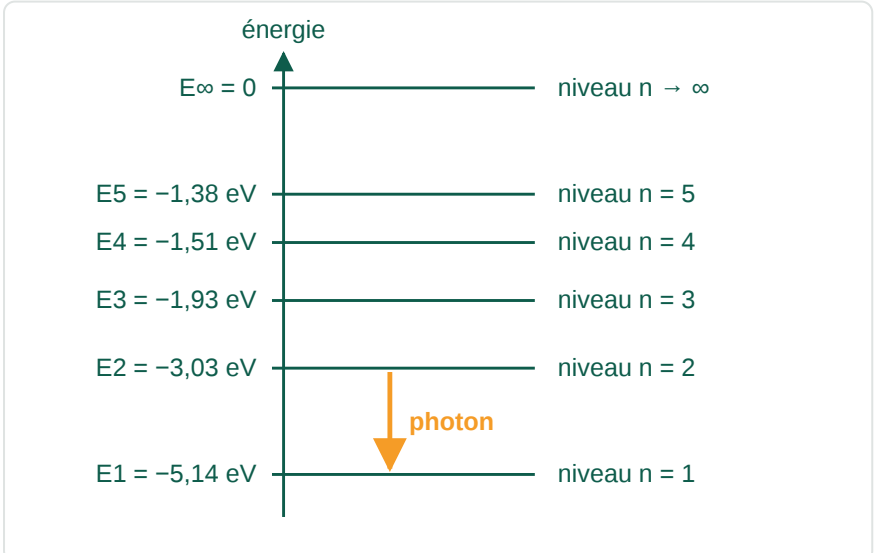
$\lambda = 5{,}89 \times 10^{-7}\ \text{m} = 589\ \text{nm}$

PIÈGE
Laisser l'écart d'énergie en électronvolts. La relation $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$ exige des joules : on multiplie par $1{,}60 \times 10^{-19}$.

COMPRENDRE
Les données ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois. La valeur de 589 nm se situe bien dans le jaune-orangé du spectre visible.

À LA CALCULATRICE





1.3 · Annexe complétée : émission, l'atome descend du niveau 2 au niveau 1

1.4 Déterminer, d'après le diagramme, la plus courte longueur d'onde que peut émettre l'atome de sodium. Préciser, en le justifiant, son domaine spectral.

Données utiles $E_\infty = 0$ eV ; $E_1 = -5{,}14$ eV ; h, c et conversion de l'électronvolt comme en 1.3

Comme $\lambda = \dfrac{h\,c}{\Delta E}$, la longueur d'onde la plus courte correspond au plus grand écart d'énergie du diagramme : du niveau $n \to \infty$ au niveau $n = 1$, soit $\Delta E = 0 - (-5{,}14) = 5{,}14$ eV.

$$\lambda_{\min} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{5{,}14 \times 1{,}60 \times 10^{-19}} = 2{,}42 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

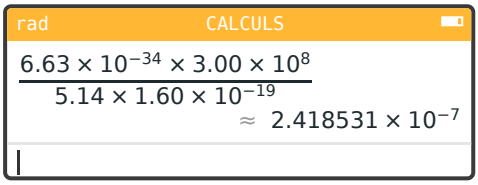
Cette longueur d'onde est inférieure à 400 nm, limite du visible du côté du violet.

$\lambda_{\min} = 242$ nm : radiation ultraviolette.

COMPRENDRE
En se limitant aux niveaux numérotés, la plus grande transition va de $n = 5$ à $n = 1$ (3,76 eV) et donne 331 nm. La conclusion ne change pas : la radiation est ultraviolette.

MÉTHODE
Plus courte longueur d'onde : chercher le plus grand écart d'énergie. Plus grande longueur d'onde : chercher le plus petit.

À LA CALCULATRICE



2.1 Le verre est un milieu dispersif : expliquer ce terme.

Dans un milieu dispersif, la célérité d'une onde dépend de sa fréquence.

Dans le verre, les radiations de fréquences différentes ne se propagent donc pas à la même célérité : l'indice du verre dépend de la fréquence et le prisme dévie chaque radiation différemment.

Milieu dispersif : la célérité de l'onde y dépend de sa fréquence.

2.2 La fréquence de la radiation jaune-orangé est-elle différente dans le verre et dans l'air ?

La fréquence d'une radiation est fixée par la source ; elle ne dépend pas du milieu traversé.

Non : la fréquence est la même dans l'air et dans le verre.

COMPRENDRE
Ce sont la célérité et la longueur d'onde qui changent d'un milieu à l'autre. La couleur, liée à la fréquence, reste jaune-orangé dans le verre.

2.3 Définir l'indice d'un milieu transparent, puis calculer la longueur d'onde λ_{verre} de la radiation jaune-orangé dans le verre.

Données utiles $n = 1{,}52$; $\lambda = 589$ nm (1.3)

L'indice d'un milieu transparent est le rapport de la célérité c de la lumière dans le vide à sa célérité v dans ce milieu : $n = \dfrac{c}{v}$.

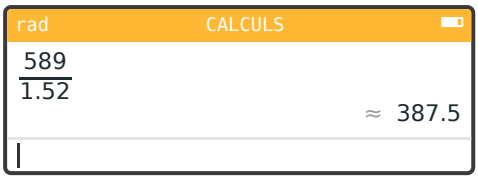
Pour la fréquence ν, identique dans les deux milieux : $c = \lambda\,\nu$ dans le vide (ou l'air) et $v = \lambda_{\text{verre}}\,\nu$ dans le verre. Donc

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda}{\lambda_{\text{verre}}} \quad \text{soit} \quad \lambda_{\text{verre}} = \frac{\lambda}{n} = \frac{589}{1{,}52}$$

$\lambda_{\text{verre}} = 388$ nm

PIÈGE
Conclure que la lumière devient violette ou ultraviolette dans le verre. La valeur de 388 nm n'est pas une longueur d'onde dans le vide : la couleur se lit sur la fréquence, inchangée.

À LA CALCULATRICE



2.4 À la sortie du prisme, on sélectionne la radiation jaune-orangé de longueur d'onde λ. Comment qualifie-t-on une telle lumière ?

Cette lumière ne contient qu'une seule radiation, donc une seule fréquence.

C'est une lumière monochromatique.

3.1 Parmi trois fentes de largeurs a différentes, laquelle choisir pour que le phénomène de diffraction soit le plus marqué possible ?

L'écart angulaire entre le centre de la tache centrale et la première extinction vaut $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$.

À λ fixée, θ est d'autant plus grand que a est petite.

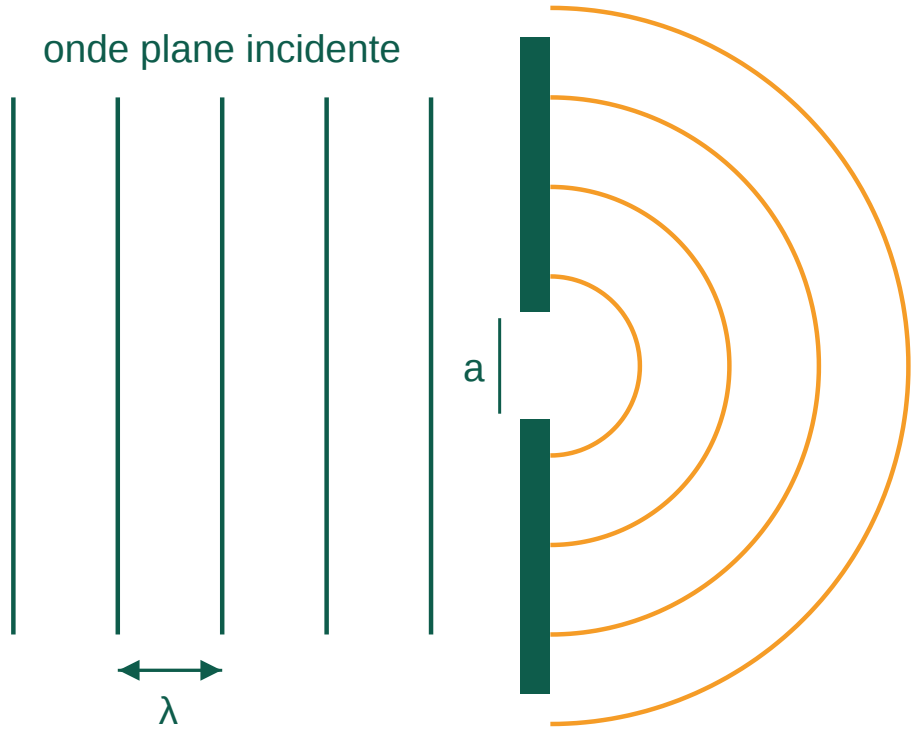
Il faut choisir la fente la plus fine.

3.2 Le phénomène de diffraction existe-t-il dans d'autres domaines que celui de la lumière ? Si oui, donner un exemple avec un schéma explicatif.

Oui : la diffraction concerne toutes les ondes, par exemple les ondes mécaniques à la surface de l'eau ou les ondes sonores.

Exemple : dans une cuve à ondes, une onde plane rencontre une ouverture dont la largeur a est de l'ordre de la longueur d'onde λ. Derrière l'ouverture, l'onde devient circulaire et s'étale dans toutes les directions.

Oui, par exemple les vagues qui franchissent une ouverture étroite (schéma).



3.2 · Cuve à ondes : après l'ouverture, l'onde s'étale, avec la même longueur d'onde

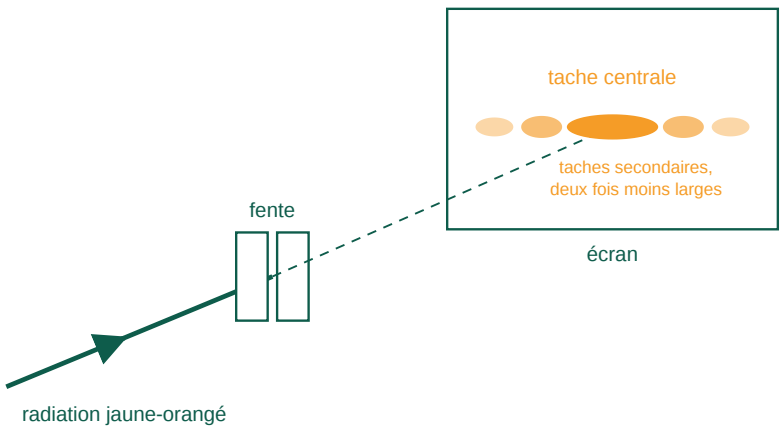
3.3 Un écran est placé à la distance $D = 85$ cm derrière la fente. Dessiner sur l'annexe l'allure de ce qu'on observe sur l'écran.

La fente est verticale : la figure de diffraction s'étale horizontalement, perpendiculairement à la fente.

On observe une tache centrale très lumineuse, encadrée de taches secondaires deux fois moins larges et de moins en moins lumineuses, séparées par des extinctions.

Taches alignées horizontalement, tache centrale deux fois plus large que les autres (annexe).

PIÈGE
Dessiner les taches alignées verticalement, dans le sens de la fente. La lumière s'étale dans la direction où l'ouverture est étroite.



3.3 · Annexe complétée : figure de diffraction horizontale, perpendiculaire à la fente

3.4 Montrer que $\lambda = \dfrac{a\,L}{2D}$, où L est la distance entre les deux extinctions qui encadrent la tache centrale. Faire l'application numérique et conclure.

Données utiles $L = 2{,}0$ cm ; $D = 85$ cm ; $a = 50\ \mu$m ; $\lambda = 5{,}89 \times 10^{-7}$ m (1.3)

La première extinction est à la distance $\dfrac{L}{2}$ du centre de l'écran :

$\tan\theta = \dfrac{L/2}{D} = \dfrac{L}{2D}$.

L'angle est petit : $\tan\theta \approx \theta$ (en radians). Avec $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$:

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D} \quad \text{donc} \quad \lambda = \frac{a\,L}{2D}$$

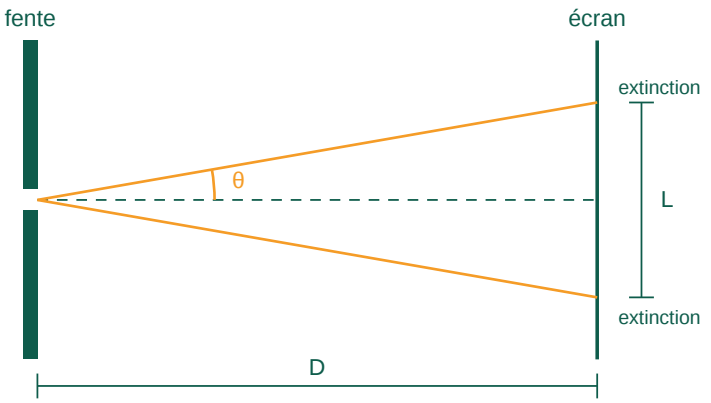
$$\lambda = \frac{50 \times 10^{-6} \times 2{,}0 \times 10^{-2}}{2 \times 85 \times 10^{-2}} = 5{,}9 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

La mesure, donnée avec deux chiffres significatifs, est en accord avec la valeur calculée en 1.3.

$\lambda = 5{,}9 \times 10^{-7}$ m, compatible avec $5{,}89 \times 10^{-7}$ m : la valeur est vérifiée.

PIÈGE
Prendre L pour la distance du centre à la première extinction : L est la largeur entière de la tache centrale, d'où le facteur 2. Convertir aussi a, L et D en mètres.

COMPRENDRE
L, a et D n'ont que deux chiffres significatifs : la diffraction confirme l'ordre de grandeur et les deux premiers chiffres, pas la précision du calcul par les niveaux d'énergie.



3.4 · Vue de dessus : θ repère la première extinction, à L/2 du centre

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{50 \times 10^{-6} \times 2.0 \times 10^{-2}}{2 \times 85 \times 10^{-2}} \approx 5.882353 \times 10^{-7}$$