Détecteur de fumées

Bac S 2018 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 2 **11 points** **Durée conseillée 1 h 50**

1.1 Vérifier que le rayonnement émis par la DEL du détecteur optique appartient bien au domaine de l'infrarouge.

Données utiles $E = 1{,}4$ eV ; $1\text{ eV} = 1{,}6 \times 10^{-19}$ J ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

Énergie d'un photon : $E = h\nu = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, donc $\lambda = \dfrac{h\,c}{E}$, avec E en joules.

$$\lambda = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}4 \times 1{,}6 \times 10^{-19}} = 8{,}9 \times 10^{-7}\text{ m}$$

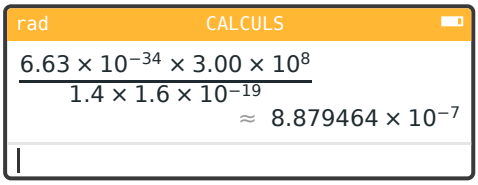
Le domaine visible s'étend de 400 nm à 800 nm environ ; l'infrarouge commence au-delà de 800 nm.

$\lambda = 8{,}9 \times 10^{2}$ nm > 800 nm : le rayonnement de la DEL est bien infrarouge.

PIÈGE
Laisser l'énergie en électronvolts dans la formule. Il faut la convertir en joules : $1{,}4 \times 1{,}6 \times 10^{-19}$ J.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise (1,4 eV). Les limites du visible (400 nm et 800 nm) sont à connaître : sans elles, impossible de conclure.

À LA CALCULATRICE



1.2 Les particules de fumée ont une taille comprise entre 0,1 µm et 100 µm. Quel phénomène physique peut contribuer à la déviation du faisceau lumineux ? Justifier.

Données utiles $\lambda = 8{,}9 \times 10^{-7}$ m (1.1)

La longueur d'onde du rayonnement vaut $\lambda = 0{,}89\ \mu\text{m}$.

Une onde est diffractée par un obstacle dont la taille est du même ordre de grandeur que sa longueur d'onde ; pour la lumière, le phénomène reste observable jusqu'à des obstacles d'une centaine de longueurs d'onde, soit ici environ $89\ \mu\text{m}$.

Les particules de fumée (de $0{,}1\ \mu\text{m}$ à $100\ \mu\text{m}$) ont des tailles qui entrent dans cet intervalle.

Le faisceau est dévié par **diffraction** sur les particules de fumée, car leur taille est comparable à $\lambda = 0{,}89\ \mu\text{m}$.

MÉTHODE
Pour justifier une diffraction : comparer la taille de l'obstacle à la longueur d'onde, dans la même unité. Plus l'obstacle est petit devant λ, plus l'onde s'étale.

1.3 Expliquer brièvement pourquoi l'alarme ne se déclenche qu'en présence de fumées.

Sur la figure 1, le récepteur n'est pas dans l'axe de la DEL : sans fumée, le faisceau se propage en ligne droite, ne l'atteint pas et finit sur le matériau absorbant, qui l'empêche d'être renvoyé par les parois.

Avec de la fumée dans la cavité, les particules dévient le rayonnement dans toutes les directions : une partie arrive sur le récepteur, qui produit alors un courant électrique.

Seule la lumière déviée par la fumée peut atteindre le récepteur : sans fumée, pas de courant, donc pas d'alarme.

2.1 Vérifier quantitativement que le poids de la particule α est négligeable devant la force électrostatique.

Données utiles $m_\alpha = 6{,}64 \times 10^{-27}$ kg ; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $q_\alpha = 2e$; $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C ; $U = 9{,}0$ V ; $d = 3{,}0$ cm

Poids : $P = m_\alpha\, g = 6{,}64 \times 10^{-27} \times 9{,}81 = 6{,}51 \times 10^{-26}$ N

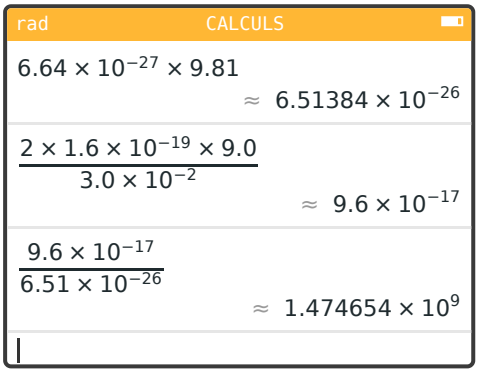
Force électrostatique : $F_e = q_\alpha\, E = \dfrac{2\,e\,U}{d}$

$$F_e = \frac{2 \times 1{,}6 \times 10^{-19} \times 9{,}0}{3{,}0 \times 10^{-2}} = 9{,}6 \times 10^{-17}\ \text{N}$$

$\dfrac{F_e}{P} \approx 1{,}5 \times 10^{9}$: la force électrostatique est environ un milliard de fois plus grande que le poids, qui est donc négligeable.

PIÈGE
Oublier le facteur 2 de la charge $q_\alpha = 2e$, ou laisser d en centimètres. « Quantitativement » impose de calculer les deux forces et de les comparer par un rapport.

À LA CALCULATRICE



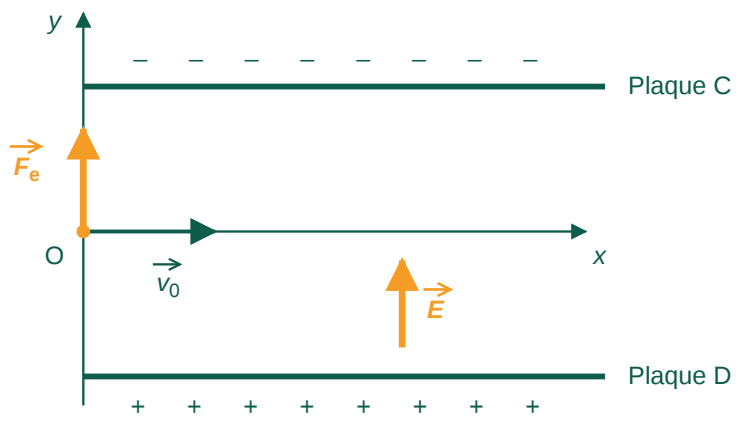
2.2 Reproduire le schéma de la figure 3 et y représenter le champ électrostatique $\vec{E}$ et la force électrostatique $\vec{F}_e$ subie par la particule α au point O. Justifier.

Dans un condensateur plan, le champ $\vec{E}$ est uniforme, perpendiculaire aux plaques et orienté de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement : ici de D vers C, donc selon l'axe (Oy), vers le haut.

La force s'écrit $\vec{F}_e = q_\alpha\, \vec{E} = 2e\, \vec{E}$. La charge q_α est positive : $\vec{F}_e$ a la même direction et le même sens que $\vec{E}$.

$\vec{E}$ et $\vec{F}_e$ sont perpendiculaires aux plaques et dirigés de D vers C (sens des y croissants) ; $\vec{F}_e$ est appliquée en O.

PIÈGE
Orienter $\vec{E}$ vers la plaque positive. Le champ « descend les potentiels » : il part de la plaque $+$ et pointe vers la plaque $-$. Le sens de la force dépend ensuite du signe de la charge.



Champ uniforme : même vecteur en tout point entre les plaques, donc aussi en O.

2.2 · Figure 3 reproduite : champ et force au point O (sans souci d'échelle)

2.3 Établir que les équations horaires du mouvement de la particule α sont $x(t) = v_0\,t$ et $y(t) = \dfrac{e\,U}{m_\alpha\,d}\,t^2$.

Système {particule α}, de masse m_α constante ; référentiel terrestre supposé galiléen ; seule force retenue : $\vec{F}_e = 2e\,\vec{E}$ (poids négligé, 2.1).

Deuxième loi de Newton : $\vec{F}_e = m_\alpha\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \dfrac{2e}{m_\alpha}\,\vec{E}$. Comme $\vec{E}$ est selon (Oy) et que $E = \dfrac{U}{d}$:

$$a_x = 0 \qquad a_y = \frac{2\,e\,U}{m_\alpha\,d}$$

On intègre une première fois ($\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$). À $t = 0$, $\vec{v}_0$ est selon (Ox) : $v_x(0) = v_0$ et $v_y(0) = 0$.

$$v_x = v_0 \qquad v_y = \frac{2\,e\,U}{m_\alpha\,d}\,t$$

On intègre une seconde fois. À $t = 0$, la particule est en O : $x(0) = 0$ et $y(0) = 0$, les constantes d'intégration sont nulles.

$$x = v_0\,t \qquad y = \frac{1}{2} \times \frac{2\,e\,U}{m_\alpha\,d}\,t^2$$

$$\boxed{x(t) = v_0\,t \text{ et } y(t) = \frac{e\,U}{m_\alpha\,d}\,t^2}$$

PIÈGE
Le $\frac{1}{2}$ de l'intégration se simplifie avec le 2 de la charge $2e$: c'est pourquoi il n'apparaît pas dans $y(t)$. Écrire les constantes nulles sans citer les conditions initiales fait perdre des points.

MÉTHODE
Toujours le même enchaînement : système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi de Newton, projection, puis deux intégrations en déterminant chaque constante avec les conditions initiales.

2.4 Déterminer la coordonnée y_L de la particule lorsqu'elle a parcouru $L = 4{,}0$ cm suivant l'axe (Ox). Expliquer pourquoi son mouvement peut être considéré comme rectiligne.

Données utiles $L = 4{,}0$ cm ; $v_0 = 1{,}6 \times 10^7$ m · s^{-1} ; $U = 9{,}0$ V ; $d = 3{,}0$ cm ; $m_\alpha = 6{,}64 \times 10^{-27}$ kg ; $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C

La particule atteint $x = L$ à la date t_L telle que $L = v_0\,t_L$, soit $t_L = \dfrac{L}{v_0}$.

On reporte dans $y(t)$:

$$y_L = \frac{e\,U}{m_\alpha\,d}\left(\frac{L}{v_0}\right)^2$$

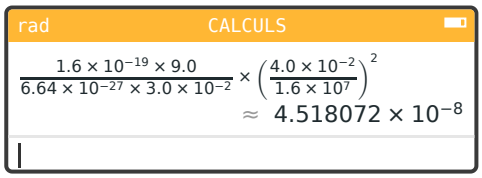
$$y_L = \frac{1{,}6 \times 10^{-19} \times 9{,}0}{6{,}64 \times 10^{-27} \times 3{,}0 \times 10^{-2}} \times \left(\frac{4{,}0 \times 10^{-2}}{1{,}6 \times 10^{7}}\right)^2 = 4{,}5 \times 10^{-8}\ \text{m}$$

La déviation à la sortie, 45 nm, est environ un million de fois plus petite que la longueur parcourue (4,0 cm) : la trajectoire, en toute rigueur parabolique, ne se distingue pas de l'axe (Ox).

$y_L = 4{,}5 \times 10^{-8}$ m, négligeable devant L : le mouvement est pratiquement rectiligne.

COMPRENDRE
La particule ne reste que $t_L = 2{,}5 \times 10^{-9}$ s entre les plaques : la force n'a pas le temps de la dévier. C'est cohérent avec la figure 2, qui annonce une trajectoire sans déviation.

À LA CALCULATRICE



2.5 Montrer que l'énergie cinétique initiale des particules α est suffisante pour ioniser des molécules de dioxygène.

Données utiles $m_\alpha = 6{,}64 \times 10^{-27}$ kg ; $v_0 = 1{,}6 \times 10^7$ m · s^{-1} ; énergie d'ionisation du dioxygène : 12 eV par molécule ; 1 eV $= 1{,}6 \times 10^{-19}$ J

$$E_c = \frac{1}{2}\,m_\alpha\,v_0^2 = \frac{1}{2} \times 6{,}64 \times 10^{-27} \times (1{,}6 \times 10^7)^2 = 8{,}5 \times 10^{-13}\ \text{J}$$

En électronvolts : $E_c = \dfrac{8{,}5 \times 10^{-13}}{1{,}6 \times 10^{-19}} = 5{,}3 \times 10^6$ eV, soit 5,3 MeV.

$E_c = 5{,}3 \times 10^6$ eV $\gg 12$ eV : l'énergie cinétique d'une particule α suffit très largement à ioniser une molécule de dioxygène.

COMPRENDRE
Avec 5,3 MeV, une seule particule α peut ioniser plusieurs centaines de milliers de molécules avant d'être arrêtée : c'est ce qui crée le courant mesuré dans la chambre.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.5 \times 6.64 \times 10^{-27} \times (1.6 \times 10^{7})^{2}$

$\approx 8.4992 \times 10^{-13}$

$$\frac{8.4992 \times 10^{-13}}{1.6 \times 10^{-19}}$$

≈ 5312000

3 À l'aide du plan de l'appartement, déterminer si l'emplacement du détecteur est satisfaisant pour réveiller une personne endormie.

Données utiles réveil si $L > 75$ dB ; $L_1 = 85$ dB à $d_1 = 3$ m ; $L_2 = L_1 + 20\log\left(\frac{d_1}{d_2}\right)$; hauteur sous plafond : 2,5 m ; échelle du plan : flèche de 1,60 m

Démarche. Il faut calculer le niveau sonore L_2 au niveau de la tête du dormeur, à la distance d_2 du détecteur, et le comparer à 75 dB.

Distance horizontale. Sur le plan, la flèche de $1{,}60$ m mesure $2{,}6$ cm. Entre le détecteur et l'oreiller le plus éloigné (cas le moins favorable), on mesure $6{,}0$ cm :

$$D = \frac{1{,}60 \times 6{,}0}{2{,}6} = 3{,}7 \text{ m}$$

Distance verticale. Le détecteur est au plafond, à $2{,}5$ m du sol. On suppose la tête du dormeur à environ $0{,}5$ m du sol : le dénivelé vaut $H = 2{,}5 - 0{,}5 = 2{,}0$ m.

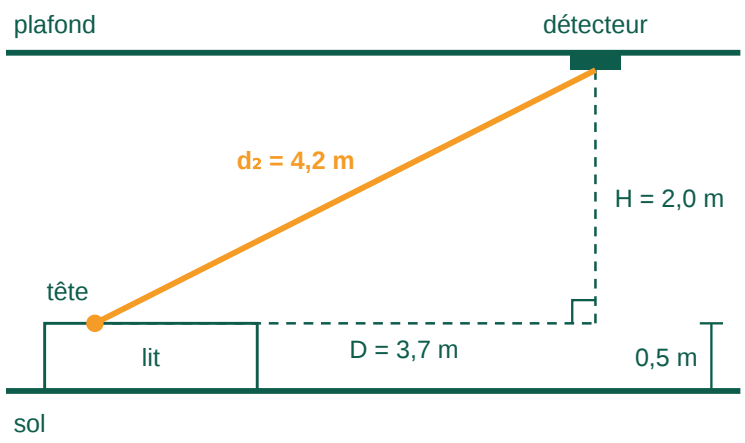
Distance détecteur–dormeur (théorème de Pythagore) :

$$d_2 = \sqrt{D^2 + H^2} = \sqrt{3{,}7^2 + 2{,}0^2} = 4{,}2 \text{ m}$$

Niveau sonore reçu :

$$L_2 = L_1 + 20\log\left(\frac{d_1}{d_2}\right) = 85 + 20\log\left(\frac{3}{4{,}2}\right) = 82 \text{ dB}$$

$L_2 \approx 82$ dB > 75 dB : le dormeur est réveillé, l'emplacement du détecteur est satisfaisant.



3 · Vue de côté : distance entre le détecteur et la tête du dormeur

PIÈGE
Se contenter de la distance lue sur le plan : le détecteur est au plafond, la distance réelle est dans l'espace. Ne pas confondre non plus le niveau L (en dB) avec la longueur L de la partie 2.

COMPRENDRE
La conclusion ne dépend pas de la hauteur choisie pour le lit : même avec la tête au sol ($H = 2{,}5$ m), on trouve $d_2 = 4{,}5$ m et $L_2 \approx 82$ dB. L'essentiel est d'annoncer clairement son hypothèse.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la grandeur à comparer, convertir la mesure avec l'échelle, poser les hypothèses, calculer, conclure par une comparaison chiffrée. Une démarche claire rapporte des points même si elle n'aboutit pas.

À LA CALCULATRICE

