Son et lumière

Bac S 2017 Métropole (ancien programme) · Exercice 2 **11 points** **Durée conseillée 1 h 50**

1.1 Citer les deux processus d'émission de lumière évoqués par le texte et préciser, pour chacun, si le spectre est un spectre de raies ou un spectre continu.

- **Incandescence** des particules d'oxyde métallique (corps chaud) : la lumière émise a un spectre **continu**.
- **Émission atomique** (désexcitation des atomes) : la lumière émise a un spectre **de raies**.

Incandescence : spectre continu ; émission atomique : spectre de raies.

COMPRENDRE
Les niveaux d'énergie d'un atome sont quantifiés : seuls certains photons, donc certaines longueurs d'onde, peuvent être émis. Un corps chaud émet au contraire toutes les radiations d'un intervalle, qui s'étend vers le bleu quand la température augmente.

1.2 Déterminer la couleur perçue lors de l'émission du photon 3.

Données utiles $E_3 = 1{,}825$ eV ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; rouge : de 625 à 780 nm

L'énergie d'un photon de longueur d'onde λ dans le vide est $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, donc $\lambda_3 = \dfrac{h\,c}{E_3}$, avec E_3 en joules.

$$\lambda_3 = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}825 \times 1{,}60 \times 10^{-19}} = 6{,}81 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

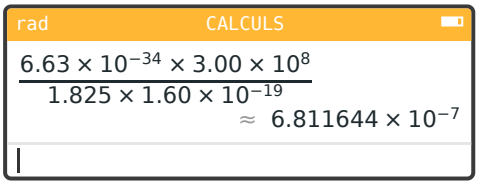
Cette longueur d'onde est comprise entre 625 nm et 780 nm.

$\lambda_3 = 681$ nm : le photon 3 correspond à une lumière **rouge**.

PIÈGE
Laisser l'énergie en électronvolts. La relation $E = h\,c/\lambda$ exige des joules : on multiplie $1{,}825$ par $1{,}60 \times 10^{-19}$.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme h, c et la valeur de l'électronvolt, données les moins précises. La célérité de la lumière dans le vide n'est pas fournie : sa valeur est à connaître.

À LA CALCULATRICE



1.3 Sans calcul supplémentaire, montrer que l'émission des trois photons explique la couleur de la lumière émise par le « crackling R100 ».

Données utiles $E_1 = 1{,}753$ eV ; $E_2 = 1{,}802$ eV ; $E_3 = 1{,}825$ eV ; $\lambda_3 = 681$ nm (1.2)

Comme $\lambda = \dfrac{h\,c}{E}$, la longueur d'onde est inversement proportionnelle à l'énergie du photon.

Les photons 1 et 2 ont des énergies un peu plus faibles que celle du photon 3 : leurs longueurs d'onde sont donc un peu plus grandes que 681 nm.

Les trois énergies sont très proches (écart de quelques pour cent) : λ_1 et λ_2 restent voisines de 681 nm, donc inférieures à 780 nm, dans le domaine du rouge.

Les trois photons correspondent à des radiations rouges, en accord avec la couleur « rouge (intense) » annoncée par le constructeur.

PIÈGE
S'arrêter à « λ augmente » ne suffit pas : il faut aussi justifier que l'on ne dépasse pas 780 nm, limite du visible, grâce à la proximité des trois énergies.

2.1 Donner les expressions littérales des coordonnées du vecteur $\overrightarrow{V_0}$ en fonction de V_0 et α.

L'angle α est mesuré entre l'axe horizontal (Ox) et $\overrightarrow{V_0}$. Par projection sur les deux axes :

$$V_{0x} = V_0 \cos\alpha \quad \text{et} \quad V_{0y} = V_0 \sin\alpha$$

MÉTHODE
La coordonnée portée par l'axe qui borde l'angle reçoit le cosinus, l'autre le sinus. Vérification : pour $\alpha = 90^\circ$, le tir est vertical et V_{0x} doit être nulle.

2.2 Montrer que, si l'on néglige toute action de l'air, le vecteur accélération $\overrightarrow{a_M}$ est égal au vecteur champ de pesanteur $\vec{g}$ dès que le projectile est lancé.

Système : la pièce pyrotechnique, de masse m constante, repérée par le point M. Référentiel terrestre supposé galiléen.

Bilan des forces après le lancement : l'action de l'air étant négligée, seul le poids $\overrightarrow{P} = m\,\vec{g}$ s'exerce sur le système.

Deuxième loi de Newton : $\sum \overrightarrow{F}_{\text{ext}} = m\,\overrightarrow{a_M}$, soit $m\,\vec{g} = m\,\overrightarrow{a_M}$.

En simplifiant par m :

$$\overrightarrow{a_M} = \vec{g}$$

PIÈGE
Oublier de nommer le système, le référentiel galiléen ou le bilan des forces : ces trois éléments sont notés, même si le calcul tient en une ligne.

COMPRENDRE
« Dès que le projectile est lancé » : pendant la phase de propulsion, une autre force agit. Le modèle de la chute libre ne vaut qu'après.

2.3 Montrer que les équations horaires du mouvement de M sont $x_M(t) = 12{,}1\,t$ et $y_M(t) = -4{,}91\,t^2 + 68{,}4\,t$, en mètres, avec t en secondes.

Données utiles $V_0 = 250\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$; $\alpha = 80^\circ$; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; à $t = 0$, M est en O

Dans le repère (Ox, Oy), $\vec{g}$ est vertical vers le bas : $a_x = 0$ et $a_y = -g$.

Comme $\overrightarrow{a_M} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{V_M}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives ; les constantes sont les coordonnées de $\overrightarrow{V_0}$:

$$V_x(t) = V_0\cos\alpha \qquad V_y(t) = -g\,t + V_0\sin\alpha$$

Comme $\overrightarrow{V_M} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}$, on prend de nouveau les primitives ; à $t = 0$, M est en O, donc les constantes sont nulles :

$$x_M(t) = V_0\cos\alpha \times t \qquad y_M(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + V_0\sin\alpha \times t$$

Application numérique, avec $V_0 = \dfrac{250}{3{,}6} = 69{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$:

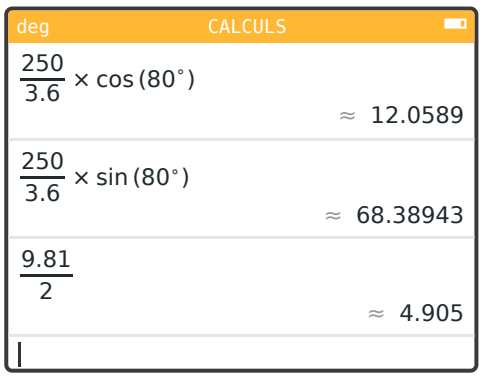
$V_0\cos\alpha = \dfrac{250}{3{,}6} \times \cos 80^\circ = 12{,}1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $V_0\sin\alpha = \dfrac{250}{3{,}6} \times \sin 80^\circ = 68{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\dfrac{g}{2} = \dfrac{9{,}81}{2} = 4{,}91\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

$x_M(t) = 12{,}1\,t$ et $y_M(t) = -4{,}91\,t^2 + 68{,}4\,t$: ce sont les équations annoncées.

PIÈGE
Garder V_0 en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$: il faut diviser par 3,6 pour obtenir des $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vérifier aussi que la calculatrice est en mode degrés.

MÉTHODE
Deux intégrations successives, de l'accélération à la vitesse puis à la position. À chaque étape, la constante se détermine avec la condition initiale, écrite explicitement sur la copie.

À LA CALCULATRICE



2.4 Dans le cadre de ce modèle, déterminer à l'aide des équations horaires l'altitude théorique atteinte par le projectile à $t = 3{,}2$ s.

Données utiles $y_M(t) = -4{,}91\,t^2 + 68{,}4\,t$ (2.3)

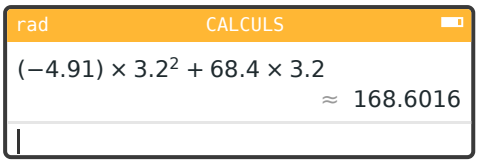
L'altitude est donnée par l'ordonnée y_M à la date $t = 3{,}2$ s :

$$y_M(3{,}2) = -4{,}91 \times 3{,}2^2 + 68{,}4 \times 3{,}2 = 169\ \text{m}$$

$$y_M(3{,}2) \approx 1{,}7 \times 10^2\ \text{m}$$

COMPRENDRE
La durée 3,2 s n'a que deux chiffres significatifs : le résultat s'arrondit à $1{,}7 \times 10^2$ m. On garde 169 m pour la comparaison qui suit.

À LA CALCULATRICE



2.5 Sachant que l'éclatement se produit lors de la montée, expliquer l'écart entre cette valeur et celle annoncée par le constructeur.

Données utiles altitude théorique : environ 169 m (2.4) ; hauteur à l'éclatement annoncée : 120 m

Le modèle prévoit une altitude d'environ 169 m alors que le constructeur annonce 120 m : la pièce monte nettement moins haut que prévu.

Le modèle néglige toute action de l'air. En réalité, pendant la montée, les frottements de l'air s'opposent au mouvement : ils freinent le projectile, qui parcourt une distance plus faible pendant la même durée.

L'écart (120 m au lieu de 169 m) montre que l'action de l'air n'est pas négligeable : le modèle de la chute libre surestime l'altitude.

COMPRENDRE
La précision « lors de la montée » écarte une autre explication : la pièce n'est pas déjà en train de redescendre à 3,2 s. Dans le modèle, le sommet n'est d'ailleurs atteint que vers 7 s.

3.1 Dans l'hypothèse où l'énergie mécanique se conserve, montrer que la hauteur maximale atteinte est $h = \dfrac{v_i^2}{2g}$.

On choisit l'origine des altitudes et de l'énergie potentielle de pesanteur au point de tir T.

- En T : vitesse v_i, altitude nulle, donc $E_m(T) = \dfrac{1}{2} m v_i^2 + 0$.
- Au sommet S : le tir est vertical, la vitesse s'annule à l'altitude h, donc $E_m(S) = 0 + m g h$.

L'énergie mécanique se conserve : $E_m(T) = E_m(S)$, soit $\dfrac{1}{2} m v_i^2 = m g h$.

En simplifiant par m puis en divisant par g :

$$h = \frac{v_i^2}{2g}$$

PIÈGE
Ne pas justifier que la vitesse est nulle au sommet. C'est vrai parce que le tir est vertical ; pour un tir oblique, il resterait la composante horizontale de la vitesse.

COMPRENDRE
La masse se simplifie : dans ce modèle sans frottement, la hauteur maximale ne dépend que de la vitesse initiale et de g.

3.2 Déterminer la valeur de la hauteur maximale atteinte h.

Données utiles $v_i = 200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$; $g = 9{,}81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Conversion : $v_i = \dfrac{200}{3{,}6} = 55{,}6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$h = \frac{v_i^2}{2g} = \frac{\left(\frac{200}{3{,}6}\right)^2}{2 \times 9{,}81} = 157 \text{ m}$$

$$h = 157 \text{ m}$$

PIÈGE
Calculer avec la valeur arrondie $55{,}6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ donne 158 m. On garde la fraction $200/3{,}6$ dans la calculatrice jusqu'au résultat final.

COMPRENDRE
Cette hauteur est un maximum théorique, sans frottement. Elle dépasse largement les 70 m auxquels la pièce éclate réellement.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{\left(\frac{200}{3.6}\right)^2}{2 \times 9.81} \approx 157.3099$$

3.3 Doit-on recommander à l'artificier le port d'un dispositif de protection auditive ? Justifier par un calcul.

Données utiles $L_1 = 120$ dB à $d_1 = 15$ m du point d'éclatement ; $H = 70$ m ; $\ell = 95$ m ; $L_2 = L_1 + 20\log\left(\frac{d_1}{d_2}\right)$; de 100 à 110 dB : « difficilement supportable »

Distance entre l'artificier et le point d'éclatement. Le triangle TEA est rectangle en T (E à la verticale de T). D'après le théorème de Pythagore :

$$d_2 = EA = \sqrt{H^2 + \ell^2} = \sqrt{70^2 + 95^2} = 118 \text{ m}$$

Niveau d'intensité sonore reçu par l'artificier. On connaît $L_1 = 120$ dB à $d_1 = 15$ m de E. En l'absence d'atténuation :

$$L_2 = L_1 + 20\log\left(\frac{d_1}{d_2}\right) = 120 + 20\log\left(\frac{15}{118}\right) = 102 \text{ dB}$$

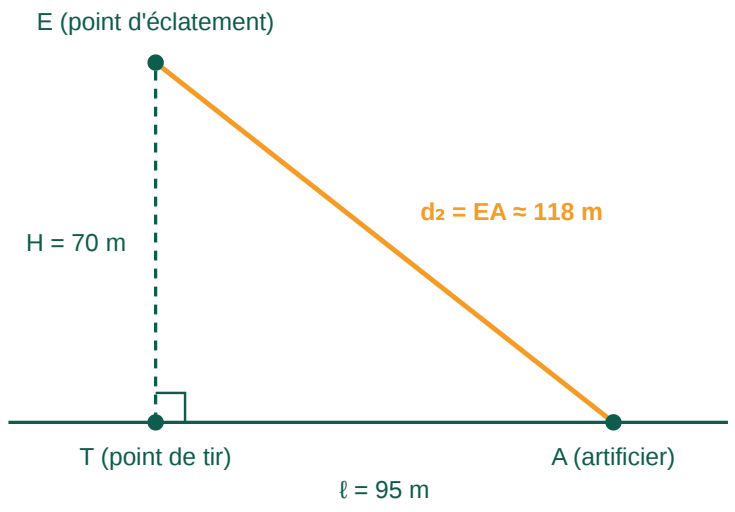
Conclusion. D'après l'échelle fournie, un niveau compris entre 100 dB et 110 dB est « difficilement supportable ».

$L_2 \approx 102$ dB : oui, il faut recommander à l'artificier le port d'une protection auditive.

PIÈGE
Prendre $d_2 = \ell = 95$ m. Le son part du point d'éclatement E, situé à 70 m d'altitude, et non du point de tir T : la distance utile est EA.

COMPRENDRE
Le niveau ne baisse que de 18 dB alors que la distance est multipliée par 8 environ : chaque doublement de la distance ne retire que 6 dB.

MÉTHODE
Question ouverte : 1) repérer la grandeur qui permet de trancher, ici L_2 ; 2) chercher ce qui manque pour la calculer, ici d_2 ; 3) calculer ; 4) comparer à l'échelle et conclure par une phrase.



3.3 · Situation de l'artificier (échelle non respectée)

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\sqrt{70^2 + 95^2} \approx 118.0042$$

$$120 + 20 \times \log\left(\frac{15}{\sqrt{70^2 + 95^2}}\right) \approx 102.0839$$