Une céramique comme réservoir d'énergie

Bac S 2019 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

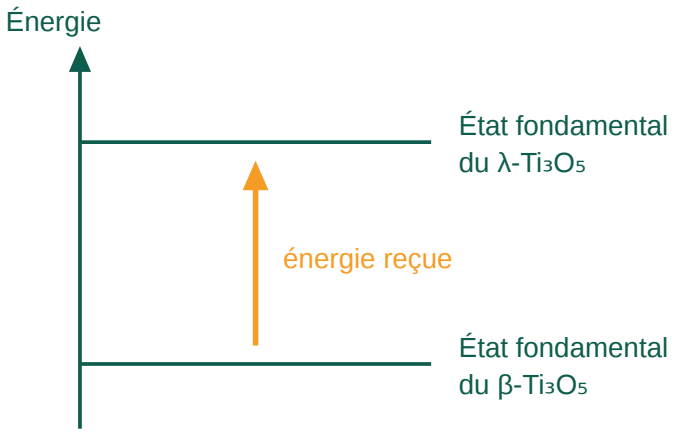
1.1 Parmi les schémas A, B et C, identifier celui qui illustre le stockage de l'énergie par le pentoxyde de trititane. Justifier.

Lors du stockage, le matériau **reçoit** de l'énergie et passe de la forme β à la forme λ : son énergie augmente.

L'état de départ est donc β-Ti_3O_5, placé en bas, l'état d'arrivée λ-Ti_3O_5, placé plus haut, et la flèche est dirigée vers le haut.

Le stockage est illustré par le **schéma C**.

PIÈGE
Le schéma A montre aussi une flèche vers le haut, mais avec les deux formes inversées : il faut vérifier le sens de la flèche et la position de chaque état.



1.1 · Schéma C : le stockage fait monter l'énergie du matériau

1.2 La totalité de la surface de la pastille étant éclairée, vérifier que l'énergie à fournir à la pastille vaut $E_p = 15{,}3$ J.

Données utiles $E = 230\ \text{J} \cdot \text{cm}^{-3}$; diamètre $D = 13{,}0$ mm $= 1{,}30$ cm ; épaisseur $H = 0{,}500$ mm $= 5{,}00 \times 10^{-2}$ cm

Toute la pastille doit changer de structure : $E_p = E \times V$, où V est le volume du cylindre.

$V = \pi r^2 H$ avec $r = \dfrac{D}{2} = 0{,}650$ cm :

$$V = \pi \times 0{,}650^2 \times 5{,}00 \times 10^{-2} = 6{,}64 \times 10^{-2}\ \text{cm}^3$$

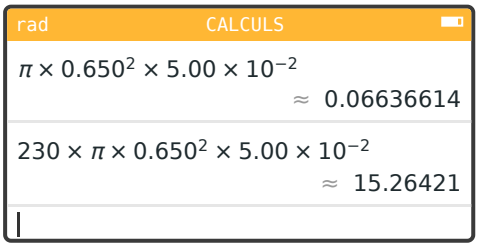
$$E_p = 230 \times \pi \times 0{,}650^2 \times 5{,}00 \times 10^{-2} = 15{,}3\ \text{J}$$

$E_p = 15{,}3$ J : on retrouve bien la valeur annoncée.

PIÈGE
E est en joules par centimètre cube : les longueurs se convertissent en centimètres, pas en mètres. Ne pas utiliser le diamètre à la place du rayon, sinon le résultat est quatre fois trop grand.

COMPRENDRE
Les données ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois, $15{,}26$ s'arrondit à $15{,}3$.

À LA CALCULATRICE



1.3 Citer une propriété du laser qui justifie son utilisation dans cette expérience.

Le faisceau laser est très **directif** : il diverge très peu, si bien que toute son énergie peut être concentrée sur la petite surface de la pastille.

Propriété utile : la directivité du laser, qui permet de concentrer l'énergie sur la pastille.

COMPRENDRE
Les propriétés du laser (directivité, monochromaticité, concentration de l'énergie dans l'espace et dans le temps) relevaient de l'ancien programme ; elles ne sont plus exigibles en spécialité aujourd'hui.

1.4 Calculer le nombre de photons nécessaires pour fournir l'énergie E_p à la pastille.

Données utiles $E_p = 15{,}3$ J (1.2) ; $\lambda = 410$ nm ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

Énergie d'un photon : $E_{\text{photon}} = h\nu = \dfrac{h\,c}{\lambda}$.

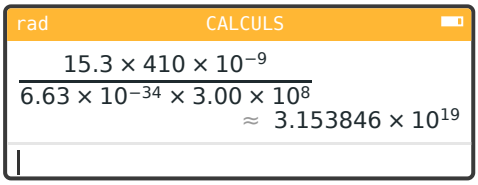
Pour N photons : $E_p = N \times \dfrac{h\,c}{\lambda}$, donc $N = \dfrac{E_p\,\lambda}{h\,c}$.

$$N = \frac{15{,}3 \times 410 \times 10^{-9}}{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}} = 3{,}15 \times 10^{19}$$

$N = 3{,}15 \times 10^{19}$ photons

PIÈGE
La longueur d'onde se convertit en mètres : $410\ \text{nm} = 410 \times 10^{-9}$ m. La valeur de c n'est pas fournie, elle doit être connue.

À LA CALCULATRICE



1.5 Donner l'ordre de grandeur de la durée minimale d'irradiation de la pastille par le laser, puis commenter la phrase « une courte exposition au Soleil permet de la charger ».

Données utiles $N = 3{,}15 \times 10^{19}$ photons (1.4) ; $D_{\text{Laser}} = 10^{21}$ photons par seconde ; $D_{\text{Soleil}} = 10^{17}$ photons par seconde

Le débit est le nombre de photons reçus par unité de temps : $D = \dfrac{N}{\Delta t}$, donc $\Delta t = \dfrac{N}{D}$.

Avec le laser : $\Delta t_{\text{Laser}} = \dfrac{3{,}15 \times 10^{19}}{10^{21}} \approx 3 \times 10^{-2}$ s, soit un ordre de grandeur de 10^{-2} s.

Avec le Soleil, le débit est 10^4 fois plus faible, la durée 10^4 fois plus grande : $\Delta t_{\text{Soleil}} = \dfrac{3{,}15 \times 10^{19}}{10^{17}} \approx 3 \times 10^{2}$ s, soit environ cinq minutes.

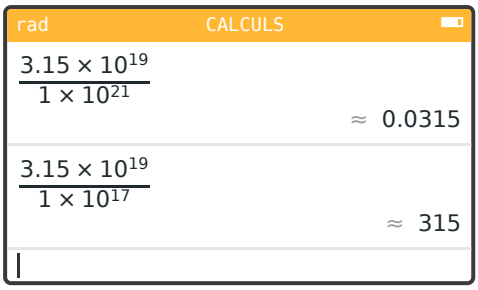
Quelques minutes au Soleil suffisent : l'exposition est bien « courte », même si elle est beaucoup plus longue qu'avec le laser.

$\Delta t_{\text{Laser}} \sim 10^{-2}$ s ; au Soleil, environ 3×10^{2} s (5 min) : la phrase est justifiée.

COMPRENDRE
Durée minimale, car on suppose chaque photon absorbé et utile. Pour le Soleil, c'est une estimation basse : ses photons, en moyenne de plus grande longueur d'onde que 410 nm, transportent moins d'énergie chacun.

MÉTHODE
Un ordre de grandeur est la puissance de dix la plus proche : 3×10^{-2} s donne 10^{-2} s. Les débits n'étant connus qu'en ordre de grandeur, un seul chiffre significatif suffit.

À LA CALCULATRICE



2.1 Que représente l'énergie interne d'un système ?

L'énergie interne U d'un système est la somme des énergies **microscopiques** des entités qui le constituent : énergies cinétiques (agitation thermique) et énergies potentielles d'interaction entre ces entités.

PIÈGE
Ne pas y inclure l'énergie cinétique d'ensemble ni l'énergie potentielle de pesanteur du système : ce sont des énergies macroscopiques.

2.2 Calculer l'énergie Q restituée par la pastille au cours de l'expérience.

Données utiles $n_{\text{gaz}} = 40{,}0$ mmol ; $R = 8{,}31$ J · K^{-1} · mol^{-1} ; $\Delta T = 18{,}2$ K

Système : le diazote de l'enceinte. L'enceinte est parfaitement isolée : le gaz n'échange de l'énergie qu'avec la pastille, et il reçoit par transfert thermique toute l'énergie Q qu'elle restitue.

Premier principe appliqué au gaz : $\Delta U = Q$, donc $Q = \frac{5}{2} n_{\text{gaz}} R \Delta T$.

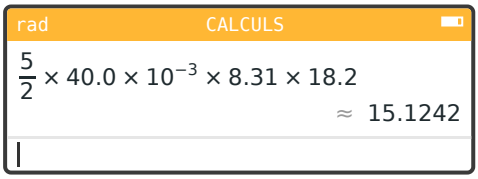
$$Q = \frac{5}{2} \times 40{,}0 \times 10^{-3} \times 8{,}31 \times 18{,}2 = 15{,}1 \text{ J}$$

$Q = 15{,}1$ J

PIÈGE
La quantité de matière est donnée en millimoles : $40{,}0$ mmol $= 40{,}0 \times 10^{-3}$ mol. L'oublier donne une énergie mille fois trop grande.

COMPRENDRE
On retrouve presque les $15{,}3$ J fournis lors de la charge (1.2) : la pastille rend pratiquement toute l'énergie qu'elle a stockée.

À LA CALCULATRICE



2.3 Les échanges thermiques se faisant sans perte, calculer la masse de pentoxyde de trititane nécessaire pour chauffer 250 mL d'eau pure de la température ambiante à 80 °C. Commenter en dégageant l'intérêt du matériau.

Données utiles $c_{\text{eau}} = 4{,}18\ \text{J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot{}^{\circ}\text{C}^{-1}$; $\rho_{\text{eau}} = 1{,}00\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; pastille de masse $m_p = 0{,}265$ g ; $Q = 15{,}1$ J par pastille (2.2)

Hypothèse : température ambiante $\theta_i = 20$ °C, soit $\Delta\theta = 80 - 20 = 60$ °C.

Masse d'eau : $m_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}}\, V_{\text{eau}} = 1{,}00 \times 250 = 250$ g.

Énergie à fournir à l'eau :

$$Q_{\text{eau}} = m_{\text{eau}}\, c_{\text{eau}}\, \Delta\theta = 250 \times 4{,}18 \times 60 = 6{,}27 \times 10^4\ \text{J}$$

Une pastille de masse m_p restitue $Q = 15{,}1$ J. Sans perte, la masse de céramique nécessaire est proportionnelle à l'énergie voulue :

$$m = \frac{Q_{\text{eau}}}{Q} \times m_p = \frac{6{,}27 \times 10^4}{15{,}1} \times 0{,}265 = 1{,}1 \times 10^3\ \text{g}$$

Cela correspond à environ 4×10^3 pastilles.

Commentaire : il faut plus d'un kilogramme de céramique pour chauffer un quart de litre d'eau, ce qui est une masse importante. L'intérêt du matériau n'est donc pas la quantité d'énergie stockée, mais le fait de la conserver longtemps sans perte, de la restituer à la demande par simple pression, et de pouvoir se recharger au Soleil.

$m \approx 1{,}1$ kg de pentoxyde de trititane

COMPRENDRE

La température ambiante est estimée, donc deux chiffres significatifs suffisent. Avec 25 °C au lieu de 20 °C, on trouverait environ $1{,}0$ kg : la conclusion ne change pas.

MÉTHODE

Question ouverte : annoncer l'hypothèse choisie, calculer l'énergie voulue, puis raisonner par proportionnalité à partir de l'énergie restituée par une pastille de masse connue.

À LA CALCULATRICE

