L'effet photoélectrique et ses applications

Bac 2026 Amérique du Nord Jour 1 · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h 03**

Q.1 Décrire l'effet photoélectrique.

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par un métal lorsqu'il est éclairé par un rayonnement de fréquence suffisante.

Chaque photon, d'énergie $E = h\nu$, cède toute son énergie à un électron du métal. L'électron n'est arraché que si cette énergie atteint le travail d'extraction : $h\nu \geq W_{ext}$.

Des électrons sont arrachés au métal éclairé, à condition que $\nu \geq \nu_S$ (fréquence seuil).

COMPRENDRE
Sous la fréquence seuil, aucun électron ne sort, même avec une lumière très intense : seul le modèle du photon (aspect particulaire de la lumière) explique ce seuil.

Q.2 Calculer la fréquence seuil ν_S permettant une émission photoélectrique pour le zinc.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $W_{ext}(\text{Zn}) = 4{,}3$ eV ; 1 eV $= 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

À la fréquence seuil, l'énergie du photon est tout juste égale au travail d'extraction : $h\nu_S = W_{ext}$, donc $\nu_S = \dfrac{W_{ext}}{h}$.

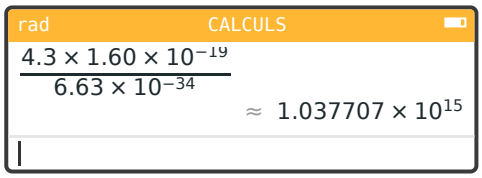
$$\nu_S = \frac{4{,}3 \times 1{,}60 \times 10^{-19}}{6{,}63 \times 10^{-34}} = 1{,}038 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$\nu_S = 1{,}0 \times 10^{15}$ Hz

PIÈGE
Laisser W_{ext} en électronvolts. Avec h en J · s, l'énergie doit être en joules : $4{,}3$ eV $= 6{,}88 \times 10^{-19}$ J.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme W_{ext}, la donnée la moins précise. On garde $1{,}038 \times 10^{15}$ Hz en mémoire pour les calculs suivants.

À LA CALCULATRICE



Q.3 En déduire la longueur d'onde correspondante et préciser le domaine des ondes électromagnétiques auquel elle appartient.

Données utiles $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; $\nu_S = 1{,}038 \times 10^{15}$ Hz (Q.2)

$\lambda_S = \dfrac{c}{\nu_S}$

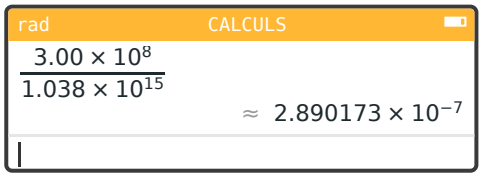
$$\lambda_S = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}038 \times 10^{15}} = 2{,}9 \times 10^{-7} \text{ m}$$

Le domaine visible s'étend de 400 nm à 800 nm environ ; ici $\lambda_S < 400$ nm.

$\lambda_S = 2{,}9 \times 10^{-7}$ m, soit environ 290 nm : domaine des ultraviolets.

PIÈGE
Calculer avec la valeur arrondie $1{,}0 \times 10^{15}$ Hz donne 300 nm au lieu de 289 nm. On reprend la valeur non arrondie de la question précédente.

À LA CALCULATRICE



Q.4 On éclaire la plaque de zinc avec une radiation de longueur d'onde $\lambda = 250$ nm. Justifier que l'effet photoélectrique se produit.

Données utiles $\lambda_S = 2{,}9 \times 10^{-7}$ m (Q.3)

L'énergie d'un photon est $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$: plus la longueur d'onde est petite, plus le photon est énergétique.

Or $\lambda = 250$ nm $< \lambda_S \approx 290$ nm, donc $\dfrac{h\,c}{\lambda} > \dfrac{h\,c}{\lambda_S} = W_{ext}$.

$\lambda < \lambda_S$, donc $E_{\text{photon}} > W_{ext}$: le photon peut arracher un électron, l'effet photoélectrique se produit.

PIÈGE
Le sens de l'inégalité s'inverse entre fréquence et longueur d'onde : l'effet a lieu si $\nu > \nu_S$, donc si $\lambda < \lambda_S$.

MÉTHODE
Autre justification possible : $\nu = \dfrac{c}{\lambda} = 1{,}20 \times 10^{15}$ Hz, supérieure à ν_S ; ou encore $E_{\text{photon}} = 4{,}97$ eV, supérieure à 4,3 eV.

Q.5 Montrer, en réalisant un bilan d'énergie, que la vitesse d'éjection des électrons s'écrit $v = \sqrt{\dfrac{2h(\nu - \nu_S)}{m_e}}$.

L'énergie $h\,\nu$ du photon absorbé sert à extraire l'électron du métal ; le surplus est emporté par l'électron sous forme d'énergie cinétique :

$$h\,\nu = W_{ext} + E_c \quad \text{avec} \quad W_{ext} = h\,\nu_S \quad \text{et} \quad E_c = \frac{1}{2}\,m_e\,v^2$$

Donc $\dfrac{1}{2}\,m_e\,v^2 = h\,\nu - h\,\nu_S = h\,(\nu - \nu_S)$, soit $v^2 = \dfrac{2h\,(\nu - \nu_S)}{m_e}$.

$v = \sqrt{\dfrac{2h\,(\nu - \nu_S)}{m_e}}$, expression attendue.

COMPRENDRE
C'est la conservation de l'énergie pour un photon et un électron. L'expression n'a de sens que si $\nu \geq \nu_S$: sinon aucun électron n'est émis.

Q.6 Calculer la valeur de cette vitesse.

Données utiles $\lambda = 250$ nm ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; $\nu_S = 1{,}038 \times 10^{15}$ Hz (Q.2) ; $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg

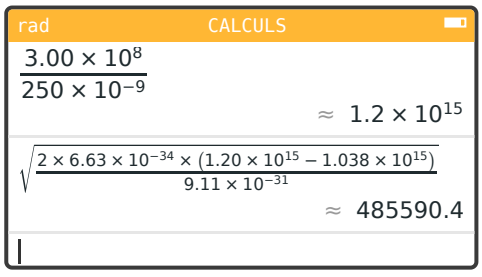
Fréquence de la radiation : $\nu = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3{,}00 \times 10^{8}}{250 \times 10^{-9}} = 1{,}20 \times 10^{15}$ Hz

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 6{,}63 \times 10^{-34} \times (1{,}20 \times 10^{15} - 1{,}038 \times 10^{15})}{9{,}11 \times 10^{-31}}}$$

$v = 4{,}9 \times 10^{5}$ m · s^{-1}

PIÈGE
La soustraction de deux fréquences proches amplifie l'arrondi : avec $\nu_S = 1{,}0 \times 10^{15}$ Hz, on trouverait $5{,}4 \times 10^{5}$ m · s^{-1}. Ne pas oublier non plus de convertir 250 nm en mètres.

À LA CALCULATRICE



Q.7 Identifier le paramètre de la radiation qui a une influence sur la valeur de la vitesse. Préciser le sens dans lequel il faut le modifier pour augmenter la vitesse.

Dans $v = \sqrt{\dfrac{2h\,(\nu - \nu_S)}{m_e}}$, les grandeurs h, m_e et ν_S (propre au zinc) sont fixées. Seule la fréquence ν dépend de la radiation.

La vitesse v est une fonction croissante de ν.

Le paramètre est la fréquence ν : il faut l'augmenter (donc diminuer la longueur d'onde) pour augmenter v.

COMPRENDRE
L'intensité lumineuse, elle aussi réglable, ne change pas la vitesse : elle fixe le nombre de photons reçus, donc le nombre d'électrons émis et l'intensité du courant mesuré.

Q.8 Calculer le rendement d'un panneau photovoltaïque dans les conditions optimales de fonctionnement, pour un éclairement moyen de $800\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Données utiles $P_{lum} = E \times S$; panneau de 1 346 mm sur 1 112 mm ; figure 2

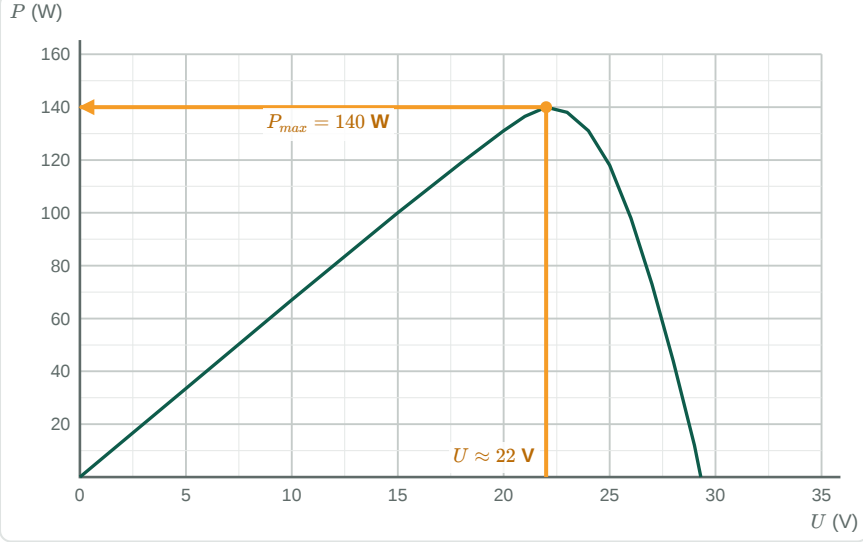
Dans les conditions optimales, la puissance électrique fournie est maximale. Sur la courbe de puissance à $800\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ de la figure 2, on lit $P_{max} = 140$ W (pour $U \approx 22$ V).

Surface du panneau : $S = 1{,}346 \times 1{,}112 = 1{,}497\ \text{m}^2$.

Puissance lumineuse reçue : $P_{lum} = E \times S = 800 \times 1{,}497 = 1{,}20 \times 10^3$ W.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{lum}} = \frac{140}{800 \times 1{,}346 \times 1{,}112} = 0{,}117$$

$\eta \approx 0{,}12$, soit un rendement d'environ 12 %.



Q.8 · Figure 2 du sujet : courbe de puissance à $800\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ et lecture du maximum

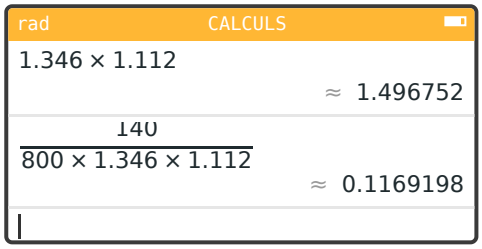
PIÈGE

Lire la puissance sur l'axe de droite (courbes en trait plein), pas l'intensité sur l'axe de gauche. Les dimensions du panneau sont à convertir en mètres.

MÉTHODE

Rendement = puissance utile ÷ puissance reçue, les deux dans la même unité. Ici l'utile est électrique, la reçue est lumineuse ; le résultat est sans unité et inférieur à 1.

À LA CALCULATRICE



Q.9 Déterminer le nombre de panneaux à installer pour couvrir la moitié de la consommation annuelle du particulier. Commenter le résultat.

Données utiles consommation annuelle 7 500 kW·h ; rendement moyen annuel 10 % ; énergie reçue $4{,}1\ \text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$ par jour ; $S = 1{,}497\ \text{m}^2$ (Q.8)

Énergie électrique à produire en un an : $E_{\text{besoin}} = \dfrac{7\,500}{2} = 3\,750\ \text{kW}\cdot\text{h}$.

Énergie lumineuse reçue par un panneau en un an : $E_{\text{reçue}} = 4{,}1 \times 365 \times 1{,}497 = 2{,}24 \times 10^3\ \text{kW}\cdot\text{h}$.

Énergie électrique produite par un panneau en un an : $E_1 = 0{,}10 \times E_{\text{reçue}} = 224\ \text{kW}\cdot\text{h}$.

Nombre de panneaux : $N = \dfrac{E_{\text{besoin}}}{E_1} = \dfrac{3\,750}{224} = 16{,}7$, que l'on arrondit à l'entier supérieur.

Commentaire : 17 panneaux occupent $17 \times 1{,}497 \approx 25\ \text{m}^2$, une surface compatible avec la toiture d'une maison, si elle est bien orientée. La production varie toutefois selon la saison et l'heure : elle ne coïncide pas toujours avec les besoins.

Il faut installer 17 panneaux, soit environ $25\ \text{m}^2$ de toiture : le projet est réaliste.

PIÈGE
Arrondir 16,7 à 16 : la moitié de la consommation ne serait pas couverte. Un nombre de panneaux s'arrondit toujours à l'entier supérieur.

COMPRENDRE
Le rendement annuel retenu (10 %) est inférieur à celui de la question précédente (12 %) : l'éclairement, l'inclinaison des rayons et la température ne sont pas toujours optimaux.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

4.1 × 365 × 1.346 × 1.112
≈ 2239.889

3750 / (0.10 × 4.1 × 365 × 1.346 × 1.112)
≈ 16.7419

17 × 1.346 × 1.112
≈ 25.44478