

Voir l'ultraviolet autour d'Europe

Terminale spécialité Physique-Chimie · Le photon et l'effet photoélectrique

1. De l'ultraviolet au signal électrique

Le **réseau optique** disperse la lumière de manière continue : chaque longueur d'onde comprise entre 55 nm et 210 nm est envoyée vers une position différente du détecteur. Les valeurs repérées sur la figure sont des bornes ou un exemple, pas trois longueurs d'onde sélectionnées.

Le détecteur est constitué de nombreux **éléments sensibles**. Le panneau 1.b agrandit l'un de ces éléments : sa photocathode en CsI libère des électrons qui sont recueillis et contribuent au signal électrique. L'instrument associe ainsi la position de l'élément, donc une longueur d'onde, à un signal mesuré.

2. Vitesse maximale à 180 nm

L'énergie d'un photon vaut :

$$E_\gamma = \frac{hc}{\lambda}.$$

Après conversion de la longueur d'onde en mètres :

$$E_\gamma = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{180 \times 10^{-9}} = 1,105 \times 10^{-18} \text{ J}.$$

Cette valeur intermédiaire est conservée non arrondie ; l'arrondi n'interviendra qu'au résultat final. En électronvolts :

$$E_\gamma = \frac{1,105 \times 10^{-18}}{1,60 \times 10^{-19}} = 6,91 \text{ eV}.$$

Comme $E_\gamma > \varphi$, un électron peut être extrait. Pour l'électron qui reçoit l'énergie cinétique maximale, le bilan énergétique s'écrit :

$$E_\gamma = \varphi + E_{c,\max}.$$

Ainsi :

$$E_{c,\max} = E_\gamma - \varphi = 6,91 - 5,90 = 1,01 \text{ eV} = 1,62 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

La soustraction se fait au rang du centième d'électronvolt : le résultat s'y arrête, soit **trois** chiffres significatifs. La calculatrice afficherait 1,0062 eV, mais rien ne justifie le quatrième chiffre — c'est ce rang qui limite la précision de la vitesse calculée ci-dessous.

Avec $E_{c,\max} = \frac{1}{2}m_e v_{\max}^2$, on obtient :

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2E_{c,\max}}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,62 \times 10^{-19}}{9,11 \times 10^{-31}}} = 5,96 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}.$$

La vitesse maximale des électrons extraits est donc $v_{\max} \simeq 5,96 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}$.

3. Fraction de photons détectés à 160 nm

L'énergie d'un photon incident vaut :

$$E_\gamma = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{160 \times 10^{-9}} = 1,24 \times 10^{-18} \text{ J.}$$

Le débit de photons incidents est donc :

$$\dot{N}_\gamma = \frac{P}{E_\gamma} = \frac{2,4 \times 10^{-11}}{1,24 \times 10^{-18}} = 1,93 \times 10^7 \text{ s}^{-1}.$$

Comme $I = \Delta Q / \Delta t$ et que chaque électron porte une charge de valeur e , le débit d'électrons détectés vaut :

$$\dot{N}_e = \frac{I}{e} = \frac{0,56 \times 10^{-12}}{1,60 \times 10^{-19}} = 3,5 \times 10^6 \text{ s}^{-1}.$$

La fraction cherchée est :

$$\eta_q = \frac{\dot{N}_e}{\dot{N}_\gamma} = \frac{3,5 \times 10^6}{1,93 \times 10^7} = 0,18.$$

Environ 18 % des photons incidents conduisent ici à un électron détecté.

4. Seuil de la photocathode métallique

a. Longueur d'onde seuil

Au seuil, l'électron extrait possède une énergie cinétique nulle :

$$\frac{hc}{\lambda_0} = \varphi.$$

Le travail d'extraction exprimé en joules vaut :

$$\varphi = 5,90 \times 1,60 \times 10^{-19} = 9,44 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

On en déduit :

$$\lambda_0 = \frac{hc}{\varphi} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{9,44 \times 10^{-19}} = 2,11 \times 10^{-7} \text{ m} = 211 \text{ nm.}$$

b. Rayonnement à 210 nm

L'extraction est possible pour $\lambda \leq \lambda_0$. Or, à la précision des données, $210 \text{ nm} \simeq \lambda_0$: la borne du domaine spectral coïncide avec le seuil de la photocathode. Le bilan d'énergie le confirme,

$$E_\gamma(210 \text{ nm}) = \frac{hc}{\lambda} = 5,92 \text{ eV}, \quad E_{c,\max} = 5,92 - 5,90 = 0,02 \text{ eV},$$

soit une énergie cinétique de l'ordre du dernier chiffre de φ , donc indiscernable de zéro avec ces données.

L'extraction reste donc possible à 210 nm, mais tout juste : les électrons sont libérés avec une énergie cinétique quasi nulle. En pratique, le rendement de détection s'effondre au voisinage du seuil, et c'est bien ce qui fixe la borne du domaine spectral de l'instrument.

c. Source de calibration à 230 nm

À 230 nm, on a $\lambda > \lambda_0$: un photon ne possède pas assez d'énergie pour provoquer l'extraction. Augmenter la puissance augmente le nombre de photons reçus par seconde, mais ne change pas l'énergie $E_\gamma = hc/\lambda$ de chacun d'eux. La proposition de l'ingénieur est donc inefficace dans le modèle photoélectrique à un photon.