Corrigé et barème – Le photon : effet photoélectrique et cellule photovoltaïque

Le photon (énergie, vitesse, masse) et le flux de photons ; l'effet photoélectrique, ses caractéristiques et son importance historique ; travail d'extraction, seuil et cellule photoélectrique ; bilan d'énergie E_{c,max} = hν − W ; absorption et émission de photons par les atomes et les semi-conducteurs ; cellule photovoltaïque et rendement.

Durée : 120 min – Calculatrice autorisée – Sur 20 points · Spécialité Physique-Chimie Terminale

Exercice 1 – Photons d'une diode laser ★★ *(4 pts)*

a) $\nu = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3{,}00 \times 10^{8}}{808 \times 10^{-9}} \approx \mathbf{3{,}71 \times 10^{14}\ Hz}$ (0,5 pt) ; 808 nm > 800 nm : **infrarouge** proche (0,5 pt). (1)

b) $E = \dfrac{hc}{\lambda} = \dfrac{1{,}989 \times 10^{-25}}{808 \times 10^{-9}} \approx \mathbf{2{,}46 \times 10^{-19}\ J}$ (0,5 pt), soit $\dfrac{2{,}46 \times 10^{-19}}{1{,}60 \times 10^{-19}} \approx \mathbf{1{,}54\ eV}$ (0,5 pt). (1)

c) $N = \dfrac{P}{E} = \dfrac{2{,}3}{2{,}46 \times 10^{-19}} \approx \mathbf{9{,}3 \times 10^{18}}$ photons par seconde (1 pt). (1)

d) $E = \dfrac{hc}{\lambda}$ ne dépend que de λ : même longueur d'onde, **même énergie** par photon ; la puissance fixe le nombre de photons (0,5 pt). $N\prime = \dfrac{4{,}6}{2{,}46 \times 10^{-19}} \approx \mathbf{1{,}9 \times 10^{19}}$ photons par seconde, le double (0,5 pt). (1)

Erreur fréquente — La puissance règle le nombre de photons, la fréquence l'énergie de chacun.

Exercice 2 – Une découverte en quatre étapes ★★ *(4 pts)*

a) La plaque perd des **électrons**, arrachés par la lumière : c'est l'effet photoélectrique (0,5 pt). L'écran absorbe l'ultraviolet et ne laisse passer que du visible, dont les photons n'ont pas assez d'énergie pour extraire un électron du métal des électrodes (0,5 pt). (1)

b) Pour une onde, l'énergie reçue s'accumule continûment et croît avec l'intensité et la durée : un électron devrait finir par recevoir assez d'énergie (0,5 pt). En réalité, un électron absorbe **un seul photon**, d'énergie $h\nu$ fixée par la fréquence ; si $h\nu < W$, il reste dans le métal, et une lumière plus intense apporte plus de photons, pas des photons plus énergétiques (0,5 pt). (1)

c) Le photon cède $h\nu$ à un électron ; au moins W sert à l'extraire, le reste devient énergie cinétique, maximale pour les électrons les moins liés : $h\nu = W + E_{c,\max}$, soit $E_{c,\max} = h\nu - W$ (0,5 pt). $E_{c,\max}$ est une fonction affine de ν de coefficient directeur h : en mesurant $E_{c,\max}$ pour plusieurs fréquences, Millikan a tracé la droite et lu h sur sa pente (0,5 pt). (1)

d) L'affirmation est fausse : l'effet photoélectrique montre le **caractère particulaire** de la lumière lors des échanges d'énergie avec la matière (0,5 pt), mais la diffraction et les interférences restent expliquées par le modèle ondulatoire : les deux modèles sont complémentaires, c'est la **dualité onde-particule** (0,5 pt). (1)

Méthode — Seuil en fréquence et indépendance vis-à-vis de l'intensité : deux faits que seul le photon explique.

Exercice 3 – Photocathode au calcium ★★ *(4 pts)*

a) $W = 2{,}87 \times 1{,}60 \times 10^{-19} = 4{,}592 \times 10^{-19}$ J ; $\lambda_s = \dfrac{hc}{W} = \dfrac{1{,}989 \times 10^{-25}}{4{,}592 \times 10^{-19}} \approx$ **433 nm** (1 pt). (1)

b) $E = \dfrac{1{,}989 \times 10^{-25}}{313 \times 10^{-9}} \approx \mathbf{6{,}35 \times 10^{-19}\ J}$, soit **3,97 eV** (0,5 pt) ; $E > W$ (ou 313 nm < 433 nm) : il y a émission (0,5 pt). (1)

c) $E_{c,\max} = E - W = 6{,}355 \times 10^{-19} - 4{,}592 \times 10^{-19} \approx \mathbf{1{,}76 \times 10^{-19}\ J}$ (0,5 pt) ; $v_{\max} = \sqrt{\dfrac{2 \times 1{,}76 \times 10^{-19}}{9{,}11 \times 10^{-31}}} \approx \mathbf{6{,}22 \times 10^{5}\ m{\cdot}s^{-1}}$ (0,5 pt). (1)

d) $N = \dfrac{0{,}75 \times 10^{-3}}{6{,}355 \times 10^{-19}} \approx 1{,}18 \times 10^{15}$ photons par seconde ; $N_e = \dfrac{0{,}38 \times 10^{-6}}{1{,}60 \times 10^{-19}} = 2{,}375 \times 10^{12}$ électrons par seconde ; proportion $\dfrac{N_e}{N} \approx 2{,}0 \times 10^{-3}$, soit **0,20 %** (0,5 pt). Puissance doublée : deux fois plus de photons, donc de courant, **0,76 µA** ; $E_{c,\max}$ **inchangée**, car la fréquence ne change pas (0,5 pt). (1)

Erreur fréquente — hν, W et Ec,max dans la même unité ; la vitesse se calcule avec Ec,max en joules.

Exercice 4 – Le semi-conducteur d'un capteur d'ultraviolet ★★★ *(4 pts)*

a) $E = \dfrac{1{,}989 \times 10^{-25}}{400 \times 10^{-9}} = 4{,}97 \times 10^{-19}$ J, soit **3,11 eV** (0,5 pt). Les photons visibles ont au plus cette énergie : pour n'en absorber aucun, il faut $E_g > 3{,}11$ **eV** (0,5 pt). (1)

b) Seul le **nitrure de gallium** (3,4 eV) convient (0,5 pt). Le silicium absorbe tout photon de plus de 1,12 eV, donc l'ultraviolet **et** le visible (et même une partie de l'infrarouge) : son courant ne permettrait pas de distinguer l'ultraviolet de la lumière du jour (0,5 pt). (1)

c) $E = \dfrac{1{,}989 \times 10^{-25}}{342 \times 10^{-9}} = 5{,}82 \times 10^{-19}$ J, soit **3,63 eV** (0,5 pt). Seul le gap est utile : $3{,}63 - 3{,}4 \approx$ **0,23 eV** sont dissipés en énergie thermique (0,5 pt). (1)

d) $E = \dfrac{1{,}989 \times 10^{-25}}{380 \times 10^{-9}} = 5{,}23 \times 10^{-19}$ J, soit **3,27 eV**, inférieure à 3,4 eV : ce photon n'est **pas absorbé** (0,5 pt). Le capteur ne répond qu'aux ultraviolets les plus courts (au-dessous d'environ 366 nm) : une partie des UV-A lui échappe (0,5 pt). (1)

Méthode — Semi-conducteur : on compare l'énergie du photon au gap ; tout ce qui est au-dessus est absorbé, l'excédent est perdu.

Exercice 5 – Rendement d'un panneau photovoltaïque ★★ *(4 pts)*

a) $P_{\text{lum}} = G \times S = 930 \times 1{,}76 \approx \mathbf{1{,}64 \times 10^{3}\ W}$ (1 pt). (1)

b) $\eta = \dfrac{P_{\text{élec}}}{P_{\text{lum}}} = \dfrac{372}{1\,636{,}8} \approx 0{,}227$, soit **22,7 %** (1 pt). (1)

c) $E = 372 \times 6 = 2\,232$ Wh $\approx$ **2,23 kWh** (0,5 pt) ; en joules : $372 \times 6 \times 3\,600 \approx \mathbf{8{,}04 \times 10^{6}\ J}$ (0,5 pt). (1)

d) $P_{\text{élec}} = \eta \times G \times S = 0{,}227 \times 280 \times 1{,}76 \approx$ **112 W** (0,5 pt), bien moins que 372 W : la puissance électrique est proportionnelle à l'éclairement, l'affirmation est fausse (0,5 pt). (1)

Erreur fréquente — L'éclairement est une puissance par mètre carré : il faut le multiplier par la surface.

Ce document est la propriété intellectuelle de Ben, professeur particulier (benprofparticulier.fr), protégée par le Code de la propriété intellectuelle (art. L. 111-1 et L. 122-4). Il est mis à disposition pour un usage personnel de révision. Toute reproduction, diffusion, mise en ligne ou revente, totale ou partielle, sans autorisation écrite est interdite et constitue une contrefaçon (art. L. 335-2).