Devoir surveillé – 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

Nom : _____ Date : _____ Note : _____ / 20

Tous les calculs doivent figurer sur la copie. Les résultats seront donnés sous la forme la plus simple possible.

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

Données pour tout le devoir : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m·s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C ; $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.

Une diode laser de puissance lumineuse 2,3 W émet une radiation de longueur d'onde 808 nm dans le vide.

a) Calculer la fréquence de cette radiation et nommer son domaine.

b) Calculer l'énergie d'un photon émis, en joules puis en électronvolts.

c) Calculer le nombre de photons émis chaque seconde.

d) Un élève affirme qu'une diode de même longueur d'onde, mais deux fois plus puissante, émettrait des photons deux fois plus énergétiques. Expliquer son erreur, puis calculer le nombre de photons émis chaque seconde par cette diode.

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

Document. En 1887, Hertz remarque qu'un éclairage ultraviolet facilite les étincelles entre deux électrodes ; un écran qui absorbe l'ultraviolet supprime cet effet, et la lumière visible ne le produit pas. En 1888, Hallwachs relie une plaque de zinc à un électroscope chargé négativement : éclairée par l'ultraviolet d'une lampe à arc, la plaque se décharge. En 1905, Einstein propose que la lumière échange son énergie par quanta. En 1916, Millikan vérifie la relation d'Einstein et en déduit une valeur de h.

a) Interpréter l'expérience de Hallwachs : quelles particules la plaque perd-elle ? Expliquer pourquoi, chez Hertz, un écran qui absorbe l'ultraviolet supprime l'effet.

b) Expliquer pourquoi, dans le modèle ondulatoire, une lumière visible assez intense aurait dû finir par décharger la plaque, puis pourquoi le modèle des photons explique qu'elle ne le fait pas.

c) Établir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie cinétique maximale des électrons émis et la fréquence de la lumière. Expliquer comment Millikan a pu en déduire h.

d) Un élève affirme : « depuis 1905, on sait que la lumière n'est pas une onde ». Discuter cette affirmation.

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

La cathode d'une cellule photoélectrique est en calcium, de travail d'extraction $W = 2{,}87$ eV. On l'éclaire par la raie ultraviolette de 313 nm d'une lampe à vapeur de mercure.

a) Calculer la longueur d'onde seuil du calcium.

b) Calculer l'énergie d'un photon de 313 nm, en joules et en électronvolts, et justifier que des électrons sont émis.

c) Calculer l'énergie cinétique maximale des électrons émis, en joules, puis leur vitesse maximale.

d) La cathode reçoit une puissance de 0,75 mW à 313 nm et le courant mesuré vaut 0,38 µA. Calculer la proportion des photons reçus qui extraient un électron. Prévoir l'effet d'un doublement de la puissance lumineuse sur le courant et sur l'énergie cinétique maximale.

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

Un capteur d'indice UV doit produire un courant sous rayonnement ultraviolet ($\lambda < 400$ nm) mais aucun sous lumière visible. Sa photodiode absorbe un photon si l'énergie de celui-ci est au moins égale au gap du semi-conducteur. Gaps : silicium 1,12 eV ; phosphure de gallium 2,26 eV ; nitrure de gallium 3,4 eV.

a) Calculer, en électronvolts, l'énergie d'un photon de 400 nm. En déduire la condition que doit remplir le gap du semi-conducteur.

b) Choisir le semi-conducteur du capteur. Expliquer pourquoi le silicium, qui absorbe pourtant l'ultraviolet, ne convient pas.

c) Le capteur reçoit un photon ultraviolet de 342 nm. Calculer son énergie en électronvolts et l'énergie dissipée sous forme thermique lors de son absorption.

d) Le capteur détecte-t-il un ultraviolet de 380 nm ? Justifier par un calcul et commenter.

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

Un panneau photovoltaïque de 1,76 m^2 reçoit un éclairement de 930 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$; il fournit alors une puissance électrique de 372 W.

a) Calculer la puissance lumineuse reçue par le panneau.

b) Calculer son rendement.

c) Calculer l'énergie électrique produite en 6 h dans ces conditions, en kilowattheures puis en joules.

d) Un vendeur affirme que ce panneau délivre encore 372 W sous un ciel couvert (éclairement 280 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$). En supposant le rendement inchangé, montrer que c'est impossible.

Bon courage !

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).