EFFET PHOTOÉLECTRIQUE – corrigé des exercices

I. Calcul de fréquences seuils

• La fréquence seuil correspond au cas où l'énergie des photons est juste suffisante pour extraire les électrons du métal : $E_{cm} = 0$; $W_0 = h\,\nu_s$; $\nu_s = \frac{W_0}{h}$.

• Les longueurs d'onde sont : $\lambda_s = c\,T_s = \frac{c}{\nu_s} = \frac{h\,c}{W_0}$.

• On obtient ainsi :

métal	Cs	Be	Ti	Hg	Pd	K
ν_s [THz]	460	944	992	1089	1210	532
λ_s [nm]	652	318	302	275	248	564
nature	rouge	U.V.A	U.V.B	U.V.C	U.V.C	vert

II. Vitesse d'éjection et potentiel d'arrêt

1. • Le potentiel d'arrêt U_0 est la valeur absolue de la tension (négative) U_{AC} qu'il faut appliquer à l'anode (par rapport à la cathode) pour repousser tous les e^- éjectés par l'effet photoélectrique.

• L'énergie cinétique des e^- est alors : $E_c = \frac{1}{2} m\,v^2 = q_e\,U_{AC} = |q_e|\,U_0 = 70\ \text{meV} = 1{,}12.10^{-20}\ \text{J}$.

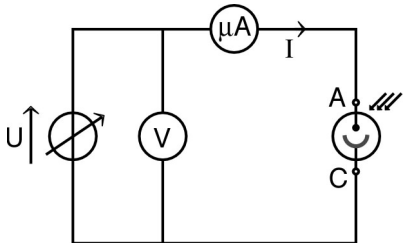
• La vitesse des électrons est donc : $v = \sqrt{\frac{2\,E_c}{m}} = 157\ \text{km.s}^{-1}$.

◊ remarque : on vérifie que l'approximation non relativiste est tout à fait correcte.

2. • Une partie de l'énergie des photons incidents sert à extraire les e^- ; le reste se retrouve sous forme d'énergie cinétique. Ainsi le travail d'extraction est : $W_0 = h\,\nu - E_c = \frac{h\,c}{\lambda} - E_c = 3{,}5.10^{-19}\ \text{J} = 2{,}2\ \text{eV}$.

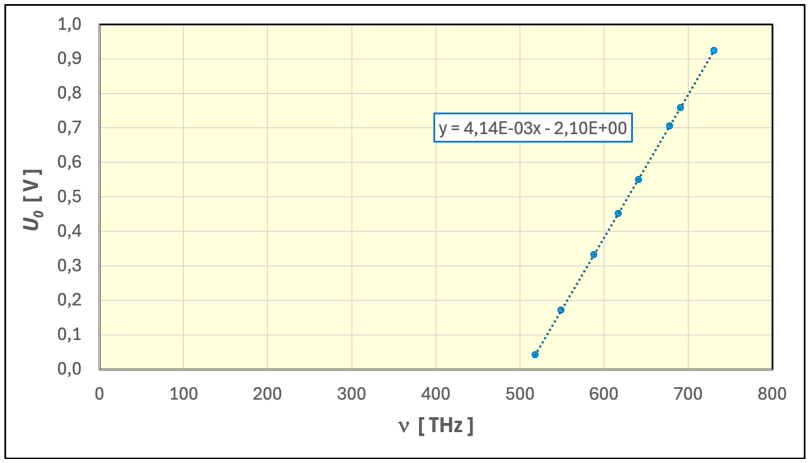
III. Détermination de la constante de Planck

1. • On peut utiliser le montage suivant :



◊ remarque : à moins d'utiliser un voltmètre électronique de TRÈS grande résistance, il faut le placer en “longue dérivation”, car le courant dans la cellule est très faible et le courant dans le voltmètre peut être non négligeable.

2. • On obtient une variation affine :



3. • Une partie de l'énergie des photons incidents sert à extraire les électrons ; le reste se retrouve sous forme d'énergie cinétique. Par ailleurs, l'arrêt des électrons impose, par conservation de l'énergie mécanique : $E_c = |q_e|\, U_0$. Ainsi l'énergie des photons est : $h\,\nu = W_0 + |q_e|\, U_0$.

4.a. • La variation affine obtenue correspond à l'équation : $U_0 = \frac{h}{|q_e|}\,\nu - \frac{W_0}{|q_e|}$; le coefficient directeur de la droite est ainsi : $\alpha = \frac{h}{|q_e|} = 4{,}14.10^{-15}\ \mathrm{J.s.C^{-1}}$. Ceci correspond à : $h = \alpha\,|q_e| = 6{,}63.10^{-34}\ \mathrm{J.s}$.

4.b. • L'ordonnée à l'origine est : $\beta = -\frac{W_0}{|q_e|} = -2{,}10\ \mathrm{V}$; donc : $W_0 = -\beta\,|q_e| = 2{,}10\ \mathrm{eV} = 3{,}36.10^{-19}\ \mathrm{J}$.

IV. Rendement quantique

1. • L'effet photoélectrique nécessite $h\,\nu > W_0$ c'est-à-dire : $\lambda < \frac{h\,c}{W_0} = 365\ \mathrm{nm}$; seule λ_1 est acceptable.

2. • L'énergie cinétique : $E_c = h\,\nu - W_0 = \frac{1}{2} m\,v^2$ donne la vitesse : $v = \sqrt{\frac{2}{m}\left(\frac{h\,c}{\lambda} - W_0\right)} = 8{,}5.10^5\ \mathrm{m.s^{-1}}$.
◊ remarque : on obtient $v \ll c$ donc non relativiste.
• Augmenter l'intensité du faisceau a pour effet d'augmenter le nombre de photons, donc le nombre d'électrons éjectés, mais sans changer leur énergie.

3. • Les électrons émis par la cathode doivent être repoussés par l'anode, qui doit donc être portée à un potentiel négatif : $U_{AC} = -U_0 < 0$.
• Le bilan d'énergie : $h\,\nu = W_0 + |q_e|\, U_0$ donne : $U_0 = \frac{h\,\nu - W_0}{|q_e|} = 2{,}24\ \mathrm{V}$ (au minimum).

4. • Le courant de saturation correspond au cas où tous les électrons émis sont captés : $\frac{dn_e}{dt} = \frac{I_s}{|q_e|}$.
• La puissance lumineuse est : $P = \frac{dn_p}{dt}\,h\,\nu$.
• En notant $r = \frac{n_e}{n_p}$ le rendement quantique : $P = \frac{I_s}{|q_e|}\,\frac{h\,\nu}{r} = 2610\ \mathrm{mW}$.