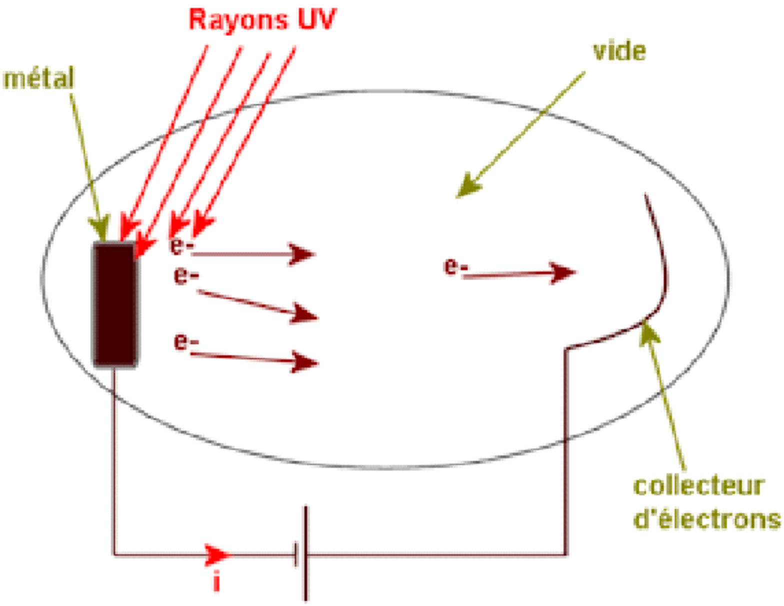
Exercice 10

Le métal formant la cathode d'une cellule photoélectrique est caractérisé par un travail d'extraction $W_e = 2,5\text{eV}$. On l'éclaire avec de la lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 400$ nm
On donne hc $= 197,3\text{eV} \cdot \text{nm}$



1) Quelles sont les unités de la constante de Planck, h?
2) Pour la lumière utilisée, l'effet photoélectrique peut-il avoir lieu ? Justifiez votre réponse.
3) Calculez l'énergie cinétique des électrons au moment de leur émission.
4) Que se passe-t-il si on inverse la polarité?Donnez la définition du potentiel d'arrêt U0 et calculez sa valeur.
5) On fixe U à 10 Volts. Calculez l'énergie cinétique des électrons lors de leur arrivée sur l'anode.
6) Pour U = 10 V, on a atteint le courant de saturation de la cellule. Expliquez ce que cela signifie.
7) Le courant mesuré est I $= 1,6\mu$A, lorsque la cathode reçoit une puissance lumineuse P $= 10 - 4$ W. Quel est le rendement quantique R de la cellule, défini comme le rapport entre le nombre d'électrons émis et le nombre de photons reçus ?
8) Que peut-on faire pour augmenter le courant de saturation : augmenter le flux de photons atteignant la cellule ou bien diminuer la longueur d'onde de la lumière ? Justifiez votre réponse.

---

1. $[\hbar] = E.T.$

$J.s.$

2. $\lambda_{UV} = 400\text{ nm}.$

. $\exists\ \gamma - e^- :$ $\quad h\nu = W_e + E_c$

$\Rightarrow E_c = h\nu - W_e > 0 \quad (1)$

$\exists\ \gamma\text{-}e^- : \quad h\nu = W_e + E_c$

$$E_\gamma = \frac{h.c}{\lambda} = 3.10\,eV \qquad E_c = h\nu - W_e > 0 \quad (1)$$

$$W_e = 2.5\,eV$$

$$E_c = E_\gamma - W_e = 3.10 - 2.5\,eV > 0$$

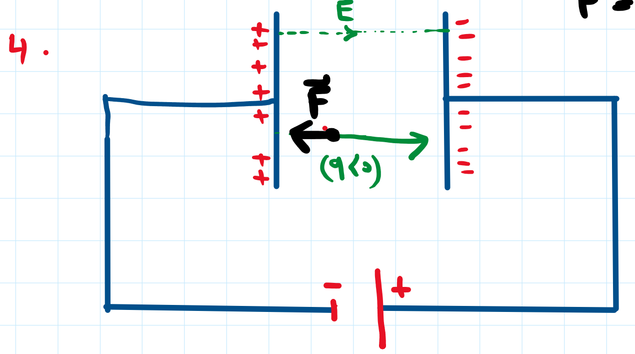
3. $E_c = h\nu - W_e$

$E_c > 0 \quad : \quad \exists$ effet γ-e⁻.

$$E_c = 3.10 - 2.5 = 0.6\ eV$$

$\vec{F} = -e.\vec{E}$

4.



•4) en inversant la polarité, les électrons sont repoussé vers la cathode.

$q = 1.6 . 10^{-19}\,C$

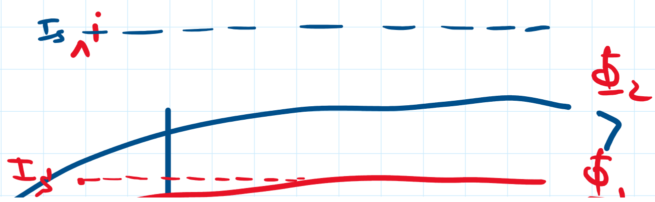
il seront arrêté : $-qU \geq E_c = h\nu - W_e$.

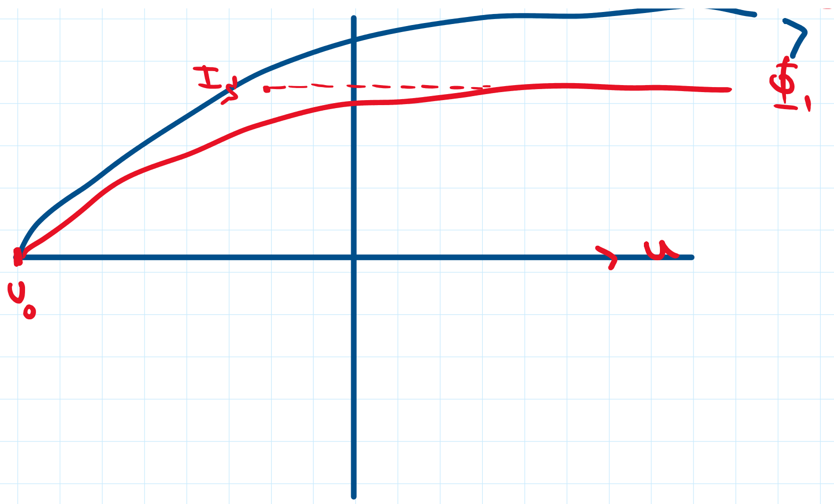
$\ast \quad -qU_0 = E_c \qquad\qquad U_0$: potentiel d'arrêt.

$$U_0 = -0.6\ V$$

5) $E_c = h\nu - W_e + q.U \qquad (q>0)$

$$= 0.6\,eV + 10\,eV = 10.6\,eV.$$

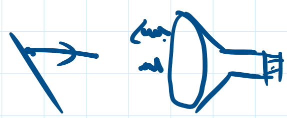




→ on a collecté les électrons extraits.

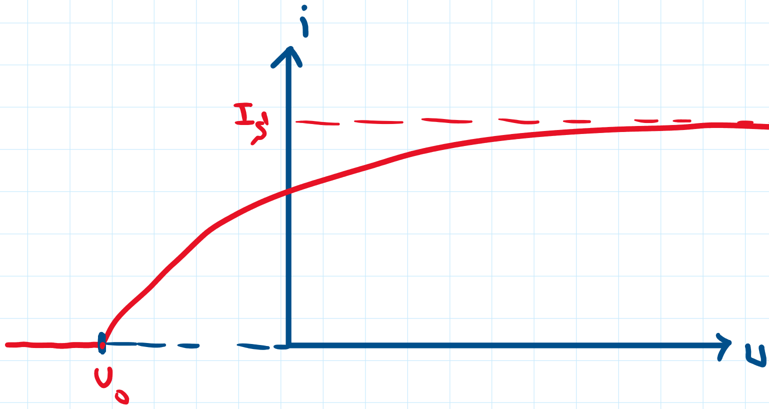
7) $\underline{I} = \underline{n_e} \cdot q = \frac{d\varphi}{dt}$

$P = n_{photon} \times h\nu$.



$$K = \frac{n_e}{n_{photon}} = \frac{\frac{I}{q}}{\frac{P}{h\nu}} = \frac{I \cdot h\nu}{P \cdot q}$$

$K = 0.05 = 5\,\%$



Exercice 3 :

On dispose d'une cellule photoélectrique dont le seuil d'extraction est de 2.4 eV. Elle est éclairée par un faisceau polychromatique composé de deux radiations de longueurs d'ondes $\lambda_1 = 430$ nm et $\lambda_2 = 580$ nm.

1. Effet photoélectrique.

a- définir l'effet photoélectrique.

b- représenter la variation de l'intensité traversant la cellule en fonction de la tension à ses bornes, U_{AC}. Représenter le schéma du montage électrique permettant de réaliser ces mesures.

2. On éclaire la cellule à l'aide des deux radiations.

a- Les deux radiations permettent-elles l'effet photoélectrique ?

b- Quelle est la vitesse maximale des électrons qui sont arrachés à la photocathode ?

c- Définir et calculer le potentiel d'arrêt.

1.
$$\nu_{seuil} = \frac{W_e}{h}$$

$$\lambda_{seuil} = \frac{c}{\nu_{seuil}} = \frac{h.c}{W_e}$$

$$W_e = 2.4 . 1.6 . 10^{-19} \text{ J}$$

$$W_e = 3.84 . 10^{-19} \text{ J.}$$

$$\lambda_{seuil} = \frac{6.63.10^{-34} \times 3.10^{8}}{3.84.10^{-19}}$$

$$\lambda_{seuil} = 0.517.10^{-6} \text{ m} = 517. \text{nm}$$

$\lambda_1 = 430$ nm $< \lambda_{seuil}$: ✓ ∃ effet γ-e⁻.

$\lambda_2 = 580$ nm $> \lambda_{seuil}$:

2.b: $E_c = h\nu - W_0$.

$$E_c = \frac{h.c}{\lambda_1} - W_0$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{hc}{\lambda_1} - W_0$$

$$v = \left(\frac{2}{m}\left(\frac{hc}{\lambda_1} - W_0\right)\right)^{1/2}$$

AN : $v = 4.1.10^5$ m/s. $\sim 10^5$ m/s

c) Potentiel d'arrêt :

c'est la tension qu'il faut appliquer entre les électrodes afin d'annuler l'Energie cinétique de des électrons qui arrivent sur l'anode.

$$U_0 = -\frac{E_c}{e} = -\frac{1}{2}\frac{m v^2}{e}$$

T.E.C : $E_{c_2} - E_{c_1} = \underbrace{\sum W_F}_{\text{somme des travaux appliqué}}$

$$\cancel{E_{c_2}}^{0} - E_{c_1} = e \cdot U_0 .$$

$$e U_0 = - E_{c1}$$

$$\| \; U_0 = -\frac{E_{c1}}{e} \; \|$$

Exercice 4 :

On dispose d'une cellule photoélectrique au potassium dont le travail d'extraction est $W_0 = 2.2$ eV.

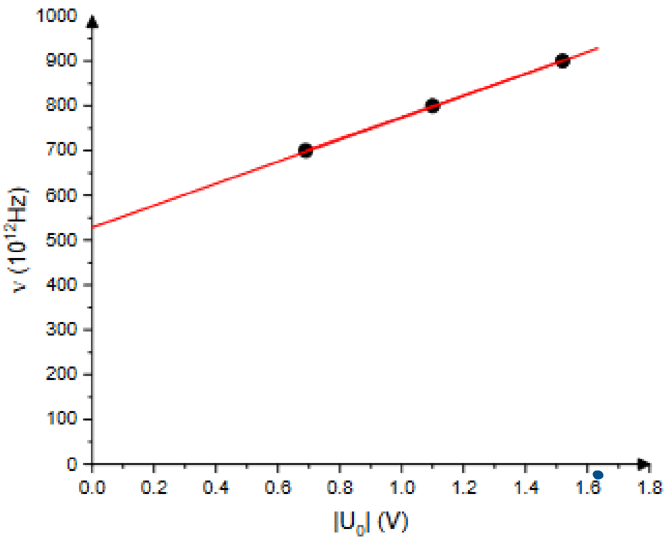
On détermine pour cette cellule, la tension d'arrêt en fonction de diverses fréquences d'éclairage. On obtient les résultats suivants : (On a indiqué dans le tableau la valeur absolue de la tension d'arrêt).

ν (Hz)	$7.00\ 10^{14}$	$8.00\ 10^{14}$	$9.00\ 10^{14}$
$\|U_0\|$ (V)	0.69	1.10	1.52

1- Tracer la courbe $\nu = f(|U_0|)$ et conclure.

2- En déduire la valeur du seuil photoélectrique de cette photocathode. Ce résultat est –il en accord avec la valeur de W_0 ?

3- Déterminer la valeur de la constante de Planck (h) à partir de la courbe réalisée. Cette valeur correspond-elle à la valeur admise ?



$$\nu = f(|U_0|) = a.|U_0| + b.$$

$$\nu = 2.41.10^{14}\,|U_0| + 5.34.10^{14} \quad (1)$$

$$-E_c = e.U_0 \Rightarrow |U_0| = \frac{E_c}{e}$$

$$E_c = h\nu - W_0 = h\nu - h\nu_0$$

$$h\nu = h\nu_0 + E_c$$

$$\nu = \nu_0 + \frac{E_c}{h} \times \frac{e}{e}$$

$$\boxed{\nu = \frac{e}{h}|U_0| + \nu_0}$$

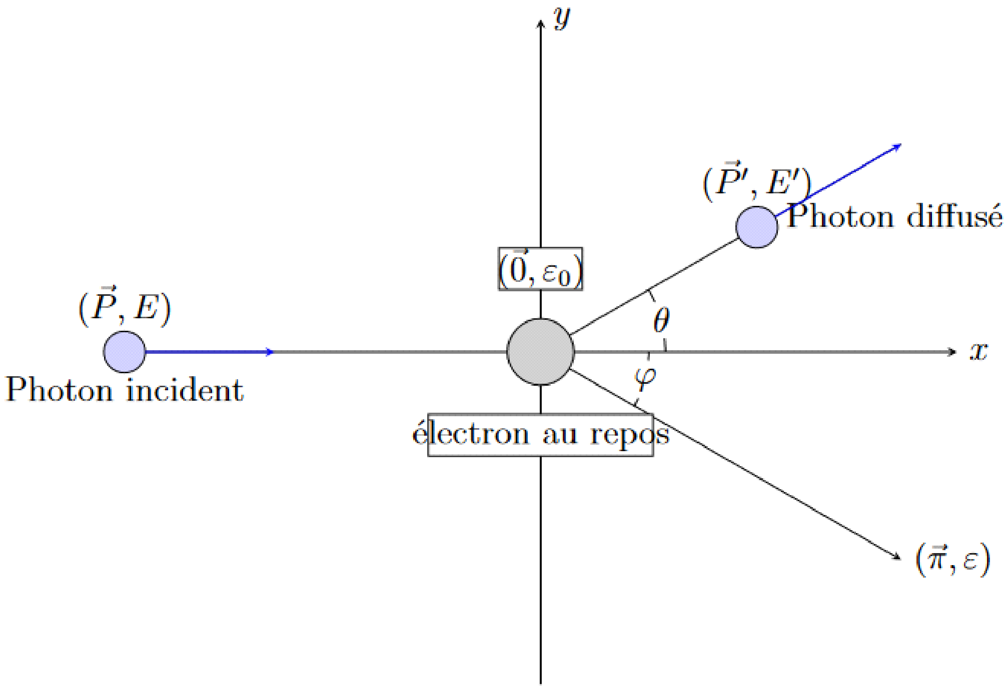
$$a = \frac{e}{h} = 2.41\,10^{14} \rightarrow h =$$

$$b = \nu_0 = 5.34.10^{14}$$

$W_0 = h.\nu_0 = \underline{2.2\ eV}$

Exercice 12

Soit une collision entre un photon incident de longueur d'onde λ (où de fréquence $\nu = c/\lambda$) et un électron libre placé en un point O selon le schéma suivant :



$\vec{p}$ et $\vec{p'}$ ont les quantités de mouvement du photon, $\vec{0}$ et $\vec{\pi}$ celles de l'électron libre respectivement avant et après la collision. **E** et **E'** sont les énergies du photon, ε_0 et *varepsilon* celles de l'électron avant et après la collision.

1) Donner (sans calculs) la relation de Compton qui exprime la variation de la longueur d'onde $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ en fonction de l'angle de diffusion θ et de la constante de Compton $\lambda_c = \frac{h}{m.c}$, sachant que λ' (ou $\nu' = \mathrm{c}/\lambda'$) est la longueur d'onde (ou la fréquence) de photon après la collision.
2) La collision étant élastique, écrire les lois de conservation de l'impulsion et de l'énergie.

3) Vérifier que l'énergie cinétique de l'électron diffusé est donnée par :

$$E_c = E - E' \tag{1}$$

4) En utilisant la relation de Compton, montrer que :

$$E_c = \frac{h^2.\nu^2(1cos(\theta))}{mc^2 + h\nu(1 - cos(\theta))} \tag{2}$$

5) Dans le cas particulier où le photon diffusé est détecté sous un angle droit, déterminer la fonction $E' = f(E)$ à l'aide des lois de conservation. Indication utiliser la relation $E = p.c$

3) Vérifier que l'énergie cinétique de l'électron diffusé est donnée par :

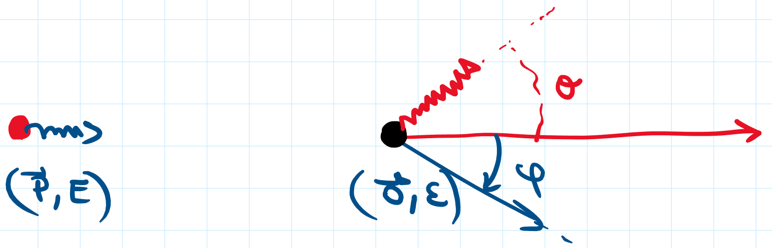
$$E_c = E - E' \tag{1}$$

4) En utilisant la relation de Compton, montrer que :

$$E_c = \frac{h^2.\nu^2(1cos(\theta))}{mc^2 + h\nu(1 - cos(\theta))} \tag{2}$$

5) Dans le cas particulier où le photon diffusé est détecté sous un angle droit, déterminer la fonction $E' = f(E)$ à l'aide des lois de conservation. Indication utiliser la relation $E = p.c$ au lieu de $h.\nu$.

6) Mettre E' sous forme $E' = \frac{aE}{1+b.E}$ où a et b sont des constantes à déterminer et discuter les cas limites : $E >> m.c^2$, $E = m.c^2$, et $E << m.c^2$.



$\Delta\lambda = \lambda_i - \lambda_r = 0$

$\Delta\lambda \neq 0$

choc élastique entre deux particules :

1) $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_c(1 - \cos\theta) \neq 0$ (1)

$\lambda_c = \frac{h}{m.c}$

2) Loi de conservation.

* Conservation d'impulsion :

avant le choc   après le choc.

$$\vec{p} + \vec{0} = \vec{\pi} + \vec{p}\,' \qquad (2)$$

* Conservation de l'énergie :

avant le choc.   après le choc

e⁻ au repos.

$$E + \mathcal{E}_0 = \mathcal{E} + E' \qquad (3)$$

3. . $\mathcal{E}_0$: l'énergie de l'électron libre

$$\mathcal{E}_0 = m.c^2$$

$\mathcal{E}$: énergie après le choc.

$$\mathcal{E} = E_c + E_p + m.c^2 \qquad (E_p = 0 : e^- \text{ libre})$$

$$\mathcal{E} = E_c + m.c^2$$

(3)

$$E + \cancel{mc^2} = E' + E_c + \cancel{mc^2}$$

Energie cinétique de l'électron. → $E_c = E - E' = h\nu - h\nu'$ (4)

4)

$$= h\nu\left(1 - \frac{\nu}{\nu'}\right)$$

$\lambda' = \dfrac{c}{\nu'}$ et $\lambda = \dfrac{c}{\nu}$ on aura :

$$E_c = h\nu\left(1 - \frac{\lambda}{\lambda'}\right)$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_c\,(1 - \cos\theta)$$

$$\lambda' = \lambda + \lambda_c \cdot (1 - \cos\theta)$$

$$E_c = h\nu \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_c \cdot (1-\cos\theta)}\right)$$

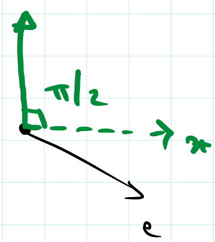
$$= h\nu \left(\frac{\cancel{\lambda} + \lambda_c \cdot (1-\cos\theta) - \cancel{\lambda}}{\lambda + \lambda_c \cdot (1-\cos\theta)} \right)$$

$$= \frac{h\nu \cdot (1-\cos\theta)}{\frac{\lambda}{\lambda_c} + (1-\cos\theta)}$$

$$E_c = \frac{h\nu(1-\cos\theta)}{\frac{mc^2}{h\nu} + (1-\cos\theta)}$$

$$E_c = \frac{h^2\nu^2(1-\cos\theta)}{mc^2 + h\nu(1-\cos\theta)}$$

7) Equation de conservation



$$\vec{p} + \vec{0} = \vec{p}\,' + \vec{\pi}.$$

$$\vec{\pi} = \vec{p} - \vec{p}\,'$$

$$\pi^2 = p^2 + p'^2 - \cancel{2\vec{p}\cdot\vec{p}\,'} \rightarrow 0$$

$$\boxed{\pi^2 = p^2 + p'^2} \quad (i)$$

or $E = p.c$ et $E' = p'.c$

$$\rightarrow \pi^2.c^2 = p^2.c^2 + p'^2.c^2 = E^2 + E'^2$$

$$\boxed{\rightarrow \underline{\underline{\pi}}^2 \cdot c^2 = p^2 \cdot c^2 + p'^2 \cdot c^2 \quad = \underline{E}^2 + \underline{E}'^2}$$

$E = f(E')$

$\pi, \underline{\underline{\varepsilon}}$

* conservation de l'énergie :

$$E + \varepsilon_0 = E' + \varepsilon$$

$$E + mc^2 = E' + \left(\underline{\pi}^2 \cdot c^2 + m^2 \cdot c^4\right)^{1/2} \quad (ii)$$

$\varepsilon = \left(\pi^2 \cdot c^2 + m^2 c^4\right)^{1/2}$: énergie relativiste de l'électron

$$\left(\underline{E} - E' + \underline{m} c^2\right)^2 = \pi^2 \cdot c^2 + m^2 c^4$$

$$(E - E')^2 + \cancel{m^2 c^4} + 2 \cdot (E - E') \cdot mc^2 = \pi^2 c^2 + \cancel{m^2} c^4$$

$$E^2 + E'^2 - 2E \cdot E' + 2(E - E')\, mc^2 = \pi^2 \cdot c^2$$

$$\cancel{E^2} + \cancel{E'^2} - 2EE' + 2(E - E')\, mc^2 = \cancel{E^2} + \cancel{E'^2}$$

$$-\cancel{2}EE' + \cancel{2}mc^2 \cdot E - \cancel{2}mc^2 E' = 0$$

$$mc^2 E = E'(E + mc^2)$$

$$\boxed{E' = \frac{mc^2 \cdot E}{E + mc^2}} = \frac{E}{1 + \frac{E}{mc^2}}$$

6)

$$E' = \frac{aE}{1 + bE} \quad \begin{cases} a = 1 \\ b = \dfrac{1}{m \cdot c^2} \end{cases}$$

$$E \gg mc^2 \Rightarrow \frac{E}{mc^2} \gg 1$$

$$\underline{\underline{E'}} \sim \frac{E}{\frac{E}{mc^2}} \sim mc^2$$

$E = mc^2$:

$$E' = \frac{E}{2}$$

$$E \ll mc^2 \Rightarrow \frac{E}{mc^2} \to 0$$

$$E' \sim E$$