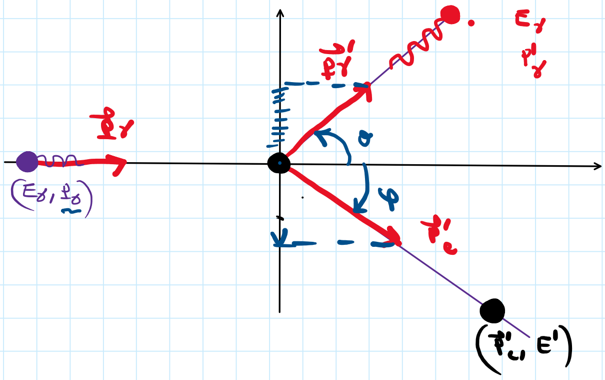
## Exercice 14

On considère un faisceau lumineux monochromatique de longueur d'onde $\lambda$ se propageant dans le vide et se dirigeant vers une cible ne contenant que des électrons libres supposés au repos. Soit $m_e$ la masse de l'électron et $\lambda'$ la longueur d'onde de la lumière diffusée après choc photon-électron. On pose $\alpha = \frac{h}{m_e c \lambda}$.

1) Écrire les équations de conservation de l'impulsion et de l'énergie lors d'un choc photon-électron.
2) Calculer la variation relative de la longueur d'onde

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{(\lambda' - \lambda)}{\lambda}$$

en fonction de $\alpha$ et de l'angle $\theta$ que fait la direction du photon diffusé avec celle du photon incident.
3) Calculer l'énergie du photon diffusé $E'$ en fonction de $\alpha$ et $\theta$
4) Exprimer l'angle $\phi$ que fait la direction de l'électron après le choc avec celle du photon incident en fonction de $\alpha$ et $\theta$.
5) Quelles valeurs prennent $\lambda'$, $E'$, et $\phi$ dans le cas où $\theta = \pi/2$?




1°) équations de conservation :

* impulsion :

$$\vec{p}_\gamma + \vec{0} = \vec{p}'_e + \vec{p}'_\gamma \quad (1)$$

$$\begin{cases} x) : & p_\gamma = p'_\gamma \cdot \cos\theta + p'_e \cdot \cos\varphi \\ y) & 0 = p'_\gamma \cdot \sin\theta - p'_e \cdot \sin\varphi \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'}\cos\theta + p'_e \cdot \cos\varphi \\ 0 = \frac{h}{\lambda'}\sin\theta - p'_e \cdot \sin\varphi \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'}\cos\theta + p'_e \cdot \underline{\underline{\cos\varphi}} & (1) \\ \frac{h}{\lambda'} \cdot \sin\theta = p'_e \cdot \underline{\underline{\sin\varphi}} & (2) \end{cases}$$

Conservation de l'énergie :

$$E_{\text{avant le choc}} = E_{\text{après le choc}}$$

avant le choc                    après le choc

$$E_\gamma + m_e c^2 = E_\gamma' + \left(p_e'^2 \cdot c^2 + m_e^2 \cdot c^4\right)^{1/2}$$

$E_e^2 = p_e'^2 c^2 + m_e^2 c^4$ . : Energie d'un e- en mvm.

2) $(1)^2 + (2)^2$ :

$$\begin{cases} \dfrac{h}{\lambda} - \dfrac{h}{\lambda'} \cos\theta = p_e' \cdot \cos\varphi & (1) \\ \dfrac{h}{\lambda'} \sin\theta = p_e' \cdot \sin\varphi. & (2) \end{cases}$$

$$\left(\frac{h}{\lambda} - \frac{h}{\lambda'} \cdot \cos\theta\right)^2 + \left(\frac{h}{\lambda'}\right)^2 \cdot \sin^2\theta = p_e'^2 \quad (1)'$$

conservation de l'énergie :

$$\frac{hc}{\lambda} + m_e c^2 = \frac{hc}{\lambda'} + \left(p_e'^2 \cdot c^2 + m_e^2 \cdot c^4\right)^{1/2}$$

$$hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right) + m_e c^2 = \left(p_e'^2 \cdot c^2 + m_e^2 \cdot c^4\right)^{1/2}$$

$$\left(h \cdot c\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right) + m_e c^2\right)^2 = p_e'^2 c^2 + m_e^2 c^4$$

$$h^2 \cancel{c^2}\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right)^2 + 2hc \cdot \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right) \cdot m_e \cancel{c^2} + \cancel{m_e^2 c^4}$$

$$= p_e'^2 \cdot \cancel{c^2} + \cancel{m_e^2 c^4}$$

$$\boxed{h^2\left(\frac{1}{\lambda^2} - \frac{2}{\lambda\lambda'} + \frac{1}{\lambda'^2}\right) + 2hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right) m_e = p_e'^2} \quad (2)'$$

$(1)' = (2)'$ :
$$\cancel{\frac{h^2}{\lambda^2}} - \frac{2h^2}{\lambda\lambda'} + \cancel{\frac{h^2}{\lambda'^2}} + 2m_e hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right)$$

$$= \cancel{\frac{h^2}{\lambda^2}} + \cancel{\frac{h^2}{\lambda'^2}} - \frac{2h^2}{\lambda\lambda'} \cos\theta$$

$$\frac{\cancel{2h^2}}{\cancel{\lambda\lambda'}}(1 - \cos\theta) = \cancel{2h} \cdot m_e c \, \frac{\lambda' - \lambda}{\cancel{\lambda\lambda'}}$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} \cdot (1 - \cos\theta)$$

$$= \frac{h}{m_e c} \cdot \frac{\lambda}{\lambda} (1 - \cos\theta)$$

$$\boxed{\frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} = \alpha(1 - \cos\theta)}$$

3) $E'$ : Energie du photon diffusé :

3) $E'$ : Energie du photon diffusé :

$$\lambda' - \lambda = \alpha \lambda . (1 - \cos\theta)$$

$$E' = \frac{h \cdot c}{\lambda'} \qquad \frac{\lambda'}{\lambda} = (1 + \alpha . (1 - \cos\theta))$$

$$E' = \frac{h \cdot c}{\lambda (1 + \alpha (1 - \cos\theta))}$$

4)

$$tg \varphi = \frac{\lambda \times \cancel{\frac{h}{\lambda}} . \sin\theta}{\lambda \left( \cancel{\frac{h}{\lambda}} - \cancel{\frac{h}{\lambda'}} . \cos\theta \right)} = \frac{\sin\theta}{\frac{\lambda'}{\lambda} - \cos\theta .}$$

$$= \frac{\sin\theta}{1 + \alpha (1 - \cos\theta) - \cos\theta} = \frac{\sin\theta}{(1 - \cos\theta \quad 1 + \alpha))(}$$

5) $\theta = \frac{\pi}{2}$ : $\cos\frac{\pi}{2} = 0$ .

$$\lambda' = \lambda (1 + \alpha (1 - \overset{0}{\cos\theta}))$$

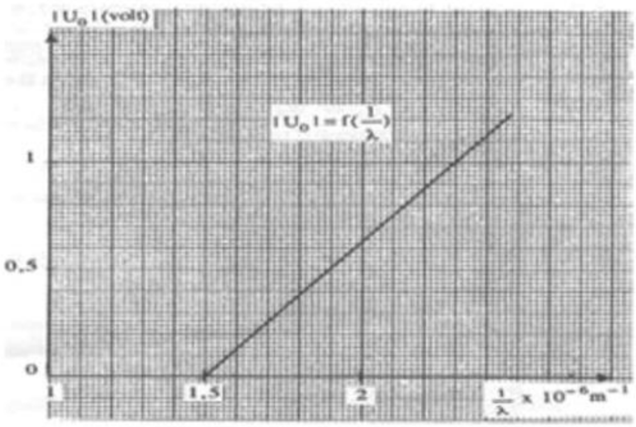
$$\lambda' = \lambda (1 + \alpha)$$

$$E'_\gamma = \frac{E\gamma}{1 + \alpha (1 - \cos\theta)} = \frac{E\gamma}{1 + \alpha} \qquad E\gamma = \frac{hc}{\lambda}$$

$$tg \varphi = \frac{1}{1 + \alpha} .$$

## Exercice 9

La courbe de la figure ci-dessous représente les variations de $|U_0|$ en fonction de $\frac{1}{\lambda}$




1) Déterminer graphiquement l'équation de la courbe représentant $|U_0| = f\left(\frac{1}{\lambda}\right)$
2) a) Établir la relation entre le potentiel d'arrêt $U_0$, le travail d'extraction $W_0$ d'un électron du métal de la cathode et l'énergie $W$ d'un photon incident. En déduire l'expression de $|U_0|$ en fonction de
3) On éclaire maintenant la cellule photoélectrique par une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0.588\mu m$.
   a) Calculer, dans le système international d'unités, l'énergie $W$ et la quantité de mouvement $\|\vec{P}\|$ en $MeV \cdot c^{-1}$.
   b) A l'aide de la courbe représentant $|U_0| = \left(\frac{1}{\lambda}\right)$, calculer le potentiel d'arrêt $U_0$ correspondant et en déduire la valeur de l'énergie cinétique maximale des électrons émis par la cathode.
   c) En supposant relativiste toute particule animée, dans un repère galiléen, d'une vitesse supérieure à $0.14c$, montrer que l'énergie cinétique d'une telle particule doit être supérieure à une fraction minimale $x$ de son énergie au repos. , En déduire si les électrons émis par la cathode sont relativistes ou non.
   d) Calculer alors la vitesse maximale d'émission d'un électron par la cathode.

On donne:

- La célérité de la lumière dans le vide : $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- La masse d'un électron : $m = 9.1 \cdot 10^{-19} C$.
- La constante de Planck : $h = 6.62 \cdot 10^{-34} J_s$



1) $|U_0| = a \cdot \frac{1}{\lambda} + b.$

$a = \frac{\Delta |U_0|}{\Delta\left(\frac{1}{\lambda}\right)} = \frac{0 - 1,5}{(1,5 - 3) \cdot 10^{-6}}$

$\sim 10^{-9}$

* $|U_0| = 0 = a\frac{1}{\lambda} + b$

$b = -\frac{a}{\lambda}$

$b = -1.5\,V$

$$\boxed{|U_0| = 10^{-9}\,\frac{1}{\lambda} - 1,5}$$

$=$ 2) a) $W = W_0 + E_c$

AN : $h = W\Gamma.4.10^{-34} e|U_0| + W_0.$

$$\frac{hc}{\lambda} = e|U_0| + W_0.$$

$$\boxed{|U_0| = \frac{hc}{e} \cdot \frac{1}{\lambda} - \frac{W_0}{e}.}$$

b) $W_0$, $h$ :

$$\frac{h.c}{c} = a \Rightarrow h = \frac{e}{c} . a$$

* $W_0$ :

$$-\frac{W_0}{e} = -1.5V \Rightarrow W_0 = 1.5.e$$

$$W_0 = 1.5 \, eV$$

3) $E_\gamma = \frac{h.c}{\lambda}$

AN : $E_\gamma = \frac{6.26.10^{-34} . 3.10^8}{0.588.10^{-6}}$

$E_\gamma = 3.4.10^{-19} J.$

$\lambda = \frac{h}{p} \Rightarrow p = \frac{h}{\lambda}$

$E_{c_{max}} = W - W_0$ $\quad$ $(W = E_c + W_0)$

$\frac{1}{2} m v^2_{max} = W - W_0$

$v_{max} = \left( \frac{2}{m} (W - W_0) \right)^{1/2}$

AN : $v_{max} = \left( \frac{2}{9.1.10^{-31}} . (3.4.10^{-19} - 1.5 . 1.6.10^{-19}) \right)^{1/2}$

$v_{max} = 4.7 . 10^5 \, m/s.$

## Exercice 15 — Modèle de Bohr

1) Établir pour un atome hydrogénoïde (noyau de charge + Ze autour duquel gravite un électron), les formules donnant :
   a) Le rayon de l'orbite de rang $n$.
   b) L'énergie du système noyau-électron correspondant à cette orbite.
   c) Exprimer le rayon et l'énergie totale de rang **n** pour l'hydrogénoïde en fonction des mêmes grandeurs relatives à l'atome d'hydrogène.
2) Calculer en eV et en joules, l'énergie des quatre premiers niveaux de l'ion hydrogènoide $Li^{2+}$, sachant qu'à l'état fondamentaux, l'énergie du système noyau-électron de l'atome d'hydrogène est égale à $-13,6$eV.
3) Quelle énergie doit absorber un ion $Li^{2+}$, pour que l'électron passe du niveau fondamental au premier niveau excité.
4) Si cette énergie est fournie sous forme lumineuse, quelle est la longueur d'onde $\lambda_{1.2}$ du rayonnement capable de provoquer cette transition ?

On donne : $\mathrm{Li}(\mathrm{Z}=3)$ IeV $=1,6.10^{-19}$Joules
$\mathrm{h}=6,62\cdot 10^{34}$ J.s $\quad \mathrm{c}=3\cdot 10^{8}\ \mathrm{m}^{-1}$

## Exercice 20

1) Considérons un grain de poussière de diamètre $1,0\mu$m, de masse $1,0.10^{-12}$ g, animé d'un mouvement de vitesse moyenne $3,0$ mm/s et mesurons sa position à $0,01\mu$m près. Calculer les valeurs minimales des incertitudes absolues sur la mesure de son impulsion et de sa vitesse.
2) Un électron se déplace sur une ligne droite. Quelle est la valeur minimale de l'incertitude absolue sur la mesure de sa vitesse si sa position est mesurée à $1,0$.

## Exercice 21

1) Calculer la longueur d'onde associée à :
   a) Un grain de poussière (exercice 10).
   b) Un véhicule de longueur $6,0$ m, de masse 3,0 tonnes et animé d'un mouvement rectiligne uniforme de vitesse 60 km/h.
   c) Un neutron thermique se déplaçant à une vitesse de $3,0$ km/s.
   d) Un photon transporté par une lumière de fréquence $6,0.10^{14}$ Hz.

   Dire si le traitement physique de ces systèmes peut relever de la physique classique.
2) En considérant les électrons accélérés sous l'effet d'une tension continue de 100 Volts comme des particules non-relativistes :
   a) calculer la vitesse qu'acquiert chacun d'eux. Conclure.
   b) Calculer la longueur d'onde associée au mouvement de chacun de ces électrons. Conclure.