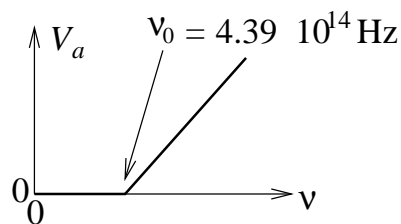
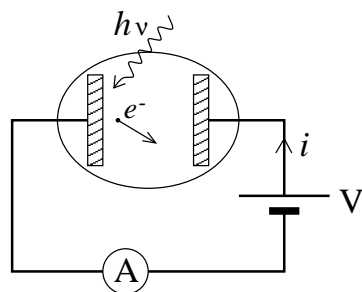


## TD 2 : Effet photoélectrique et effet Compton

Les effets photoélectrique (P. Lenard, 1902) et Compton (1924) sont deux manifestations de la nature corpusculaire de la lumière. Le premier montre que la lumière ne peut être absorbée par un métal que par quanta d'énergie (les photons) alors que l'effet Compton conduit à attribuer une impulsion aux particules de lumière.

### 1 Effet photoélectrique

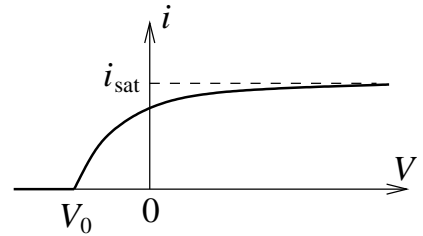
1. Le travail d'extraction du barium est de 2.48 eV. Quelle est l'énergie cinétique maximale des électrons si le métal est éclairé avec de la lumière monochromatique de longueur d'onde 480 nm ? Quelle est alors leur vitesse ?
2. Quelle est la plus grande longueur d'onde lumineuse capable d'extraire des électrons d'un métal dont le travail d'extraction est de 2.3 eV ? À quelle fréquence correspond-elle ?
3. Des photons de longueur d'onde  $\lambda = 220$  nm bombardent une cible métallique et libèrent des électrons avec une énergie cinétique variant entre 0 et  $61 \cdot 10^{-20}$  J. Déterminer la longueur d'onde et la fréquence de seuil.
4. La longueur d'onde seuil pour l'extraction d'électrons sur une surface donnée est  $\lambda_0 = 380$  nm. Quelle est l'énergie cinétique maximale des électrons extraits pour un rayonnement incident de longueur d'onde : (i)  $\lambda = \lambda_0$ , (ii)  $\lambda = 280$  nm et (iii)  $\lambda = 480$  nm.
5. Une ampoule électrique de 100 W émet sous forme de lumière visible (d'une longueur d'onde moyenne de 550 nm) 3.0% de l'énergie qu'elle reçoit et ce, uniformément dans toutes les directions. Combien de photons frappent, chaque seconde, la pupille (supposée d'un diamètre de 4 mm) de l'oeil d'un observateur situé à une distance de 10 km ?
6. On éclaire une anode de Césium avec de la lumière monochromatique.



- a) On trace le potentiel d'arrêt en fonction de la fréquence du rayonnement. Quel est le travail d'extraction du Césium ? Quelle serait l'allure de la courbe pour un métal caractérisé par un travail d'extraction inférieur ? Que mesure la pente de la droite ?
- b) Pour une fréquence donnée  $\nu > \nu_0$ , quelle valeur peut prendre l'énergie cinétique d'un électron arraché ?

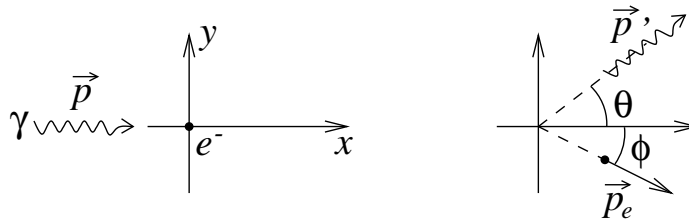
c) À  $\nu$  fixée, on mesure le courant électrique en fonction du potentiel. Expliquer l'allure de la courbe. À quelle quantité est relié  $V_0$  ?

Si on éclaire maintenant le métal avec un rayonnement d'intensité deux fois plus importante, dessiner sur la même figure la nouvelle courbe attendue.



## 2 Effet Compton

L'étude de la diffusion de la lumière par une particule chargée électriquement montre que la longueur d'onde ( $\lambda'$ ) de la lumière diffusée diffère de celle de la lumière incidente ( $\lambda$ ). Debye et Compton ont analysé ce phénomène comme la collision élastique d'un électron et d'un photon auquel on attribue une impulsion donnée par la relation de de Broglie  $p = h/\lambda$  ( $h$  est la constante de Planck).



**1. Relation Compton.** Dans la plupart des expériences, les échanges d'énergie entre le photon et l'électron ne sont pas négligeables devant l'énergie de masse  $mc^2$ . On doit donc considérer la relation de dispersion relativiste entre l'impulsion et l'énergie :

$$E = \sqrt{m^2 c^4 + \vec{p}^2 c^2} \quad (1)$$

où  $m$  est la masse de l'électron.

a) En développant l'expression précédente dans la limite  $p \ll mc$ , retrouver la relation de dispersion non relativiste  $E_c = \frac{p^2}{2m}$ .

b) Écrire les équations de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie dans l'expérience de collision entre le photon et l'électron.

c) En déduire la relation Compton reliant la longueur d'onde  $\lambda'$  du photon diffusé dans la direction  $\theta$  à la longueur d'onde du photon incident :

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta) \quad (2)$$

d) *Longueur d'onde Compton.* Vérifier par analyse dimensionnelle que  $\lambda_c = \frac{h}{mc}$  a bien la dimension d'une longueur. Donner sa valeur. Montrer qu'un photon de longueur d'onde  $\lambda_c$  a une énergie égale à l'énergie de masse de l'électron.

e) Calculer l'énergie transférée à l'électron.

f) Calculer  $\lambda'$  pour  $\theta = 0, \pi/2$  et  $\pi$ . Dans chacune de ces directions, quelle énergie le photon perd-il au cours de la collision dans les deux cas limites  $\lambda \gg \lambda_c$  (photon peu énergétique) et  $\lambda \ll \lambda_c$  (photon très énergétique) ?

**2.** Des rayons X de longueur d'onde  $\lambda = 110$  pm sont diffusés par des électrons libres. Quelle est la longueur d'onde des photons diffusés dans la direction  $\theta = 20^\circ$  ?

**3.** Quel doit être l'angle de diffusion du photon pour que l'énergie cinétique de recul de l'électron soit maximale ?

**4. Validité de l'hypothèse d'un électron initialement au repos.** Dans la démonstration de la relation Compton on a supposé que l'électron est initialement au repos. En pratique l'électron est lié à un atome et cette hypothèse n'est justifiée que si l'énergie cinétique de l'électron après la diffusion est beaucoup plus grande que son énergie xscinétique avant la collision. Cette dernière est de l'ordre de l'énergie de liaison entre l'électron et l'atome, *i.e.* quelques eV pour les électrons des couches externes.

a) En reprenant les expressions utilisées au cours de l'exercice 1, exprimer l'énergie cinétique de l'électron en fonction de l'énergie du photon incident et de l'angle de diffusion. On fera apparaître le rapport  $\alpha = \frac{h\nu}{mc^2}$ .

b) Calculer  $E_c$  pour un photon visible de  $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$ , un photon X de  $\lambda = 20 \text{ pm}$  et un photon gamma d'énergie  $h\nu = 2 \text{ MeV}$ .

c) Discuter la validité de l'approximation.