

Physique générale : quantique, Série 3

Assistants et tuteurs :

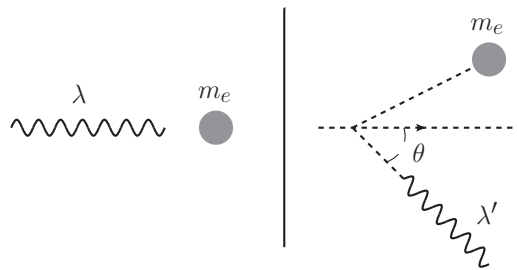
elena.acinapura@epfl.ch
sara.alvesdossantos@epfl.ch
felice.bordereau@epfl.ch

jeanne.bourgeois@epfl.ch
sofia.brizigotti@epfl.ch
thomas.chetaille@epfl.ch
marco.dimambro@epfl.ch

leo.goutte@epfl.ch
douaa.salah@epfl.ch
arianna.vigano@epfl.ch

Exercice 1 : Diffusion Compton

Considérer la diffusion élastique d'un photon de longueur d'onde λ sur un électron immobile :



En utilisant la conservation de l'énergie et de l'impulsion, montrer la relation de Compton :

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

Pour effectuer ce calcul, on rappelle que, selon la relativité restreinte, le mouvement d'une particule est caractérisé par le quadri-moment énergie-impulsion

$$p = (p^0, p^1, p^2, p^3) = \left(\frac{E}{c}, p_x, p_y, p_z \right),$$

où E est l'énergie totale de la particule et $p_x = mv_x$, $p_y = mv_y$, $p_z = mv_z$ sont les composantes de l'impulsion classique \mathbf{p} d'une particule de masse m . Les lois de la relativité restreinte imposent que la norme de ce quadri-vecteur, selon la métrique de Lorentz, est une quantité invariante, c.-à-d.

$$p \cdot p = -\frac{E^2}{c^2} + |\mathbf{p}|^2 = -m^2 c^2.$$

De cette relation on obtient que, pour une particule de masse m , $E = \sqrt{|\mathbf{p}|^2 c^2 + m^2 c^4}$.

On rappelle également que le photon de fréquence ν et longueur d'onde λ est caractérisé par une énergie $E = h\nu$ et une impulsion $|\mathbf{p}| = h/\lambda$.

Exercice 2 : Evaporation d'une goutte d'eau

Supposons qu'une goutte d'eau bouillante à température initiale $T_1 = 100\text{ °C}$ et de rayon initial $R = 100\text{ microns}$ peut être considérée comme un corps noir. Cette goutte se trouve à l'intérieur d'une cavité d'un autre corps noir dont la température vaut $T_2 = 130\text{ °C}$.

1. Que valent la puissance totale émise et absorbée par la goutte au moment initial ($t=0$) ?
2. Etablir l'équation différentielle qui décrit le taux de changement du rayon de la goutte $dR(t)/dt$ en fonction du temps t , en supposant que toute la différence entre le rayonnement thermique émis et absorbé par cette goutte résulte en l'évaporation de la goutte dont la forme reste toujours sphérique.
3. Calculer le temps nécessaire pour l'évaporation complète de la goutte.

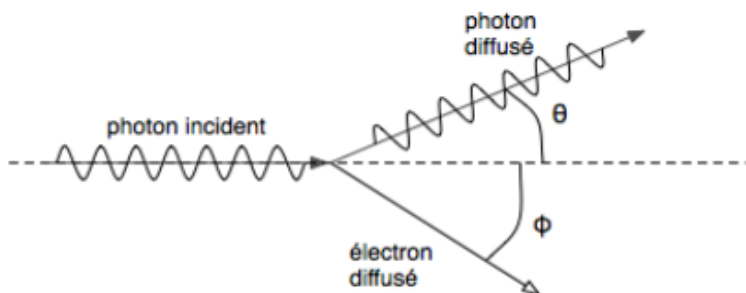
La chaleur spécifique d'évaporation de l'eau vaut $C = 2260\text{ kJ/kg}$, la densité de l'eau vaut 1 g/cm^3 . Il faut considérer le fait que la température du rayonnement autour de la goutte reste constante dans le temps.

Exercice 3 : Effet photoélectrique

L'électrode d'un condensateur planaire est irradiée par un laser pulsé UV de longueur d'onde $\lambda = 266\text{ nm}$. La puissance moyenne illuminant la surface de l'électrode vaut $P = 1\text{ nW}$ et la fréquence de répétition des impulsions est de $f = 500\text{ Hz}$. Cette électrode est fabriquée en aluminium dont le travail de sortie photoélectrique vaut $\phi = 4.08\text{ eV}$. Quelle sera la charge maximale du condensateur Q_{max} et après combien d'impulsions du laser cette charge maximale est-elle atteinte, si l'efficacité quantique de l'effet photoélectrique vaut $\eta = 0.02\%$? La surface des plaques du condensateur vaut $S = 5\text{ cm}^2$ et la distance entre les électrodes est de $d = 4\text{ mm}$.

Exercice 4 : Effet Compton 1

Après la collision entre un photon et un électron l'électron, dont la vitesse initiale était égale à zéro, a une vitesse $v = 30'000\text{ km/s}$. Que vaut la longueur d'onde du photon après l'interaction si sa longueur d'onde initiale valait $\lambda = 2.5 \times 10^{-11}\text{ m}$? Calculez l'angle θ de diffusion du photon. Que vaut l'angle ϕ entre le vecteur vitesse de l'électron et la direction initiale du photon?



Diffusion Compton: Collision d'un photon avec un électron au repos

Exercice 5 : Effet Compton 2

Considérons la collision entre un photon et un électron au repos. Après la collision, le vecteur de la quantité de mouvement du photon \mathbf{p}'_{ph} est égal à $-1/3$ du vecteur de la quantité de mouvement \mathbf{p}'_e de l'électron : $\mathbf{p}'_{ph} = -(1/3)\mathbf{p}'_e$. Remarquez que les deux impulsions après la collision sont co-linéaires.

1. Calculez la longueur d'onde initiale et finale du photon. Quel est l'angle θ de diffusion du photon ?
2. Calculez la longueur d'onde de de-Broglie associée à l'électron après la collision.