

# 1 Relativité restreinte

## 1.1 Rayons cosmiques

Des muons sont créés par l'interaction des rayons cosmiques avec l'atmosphère, à 10 km d'altitude, alors qu'ils ont une vitesse de 0,995 c. Au repos, leur durée de vie moyenne est de 2,2  $\mu$ s. Calculer :

1. leur durée de vie mesurée par un observateur terrestre.
2. le temps mis par un muon pour arriver au niveau du sol dans le référentiel terrestre.
3. le temps mis par un muon pour arriver au niveau du sol, dans son référentiel.
4. la hauteur de l'Everest mesurée par un observateur immobile dans le référentiel d'un muon (...).

## 1.2 Source en mouvement

Une lampe se déplace par rapport à la Terre dans une direction  $u_x$  à une vitesse  $v = 0,9 c$ . Dans son référentiel  $R'$ , elle émet de manière isotrope. On considère un rayon faisant un angle  $\theta'$  avec la direction  $u_x$  de propagation de la lampe. Montrer que l'angle  $\theta$  que fait ce rayon avec  $u_x$  vérifie :

$$\cos \theta = \frac{\cos \theta' + \beta}{1 + \beta \cos \theta'}$$

où  $\beta = v/c$ . Calculer la valeur de  $\theta$  correspondant à  $\theta' = \pi/2$ . Le rayonnement est-il isotrope dans  $R$  ?

## 1.3 Chocs

1. Soit un électron 1, initialement au repos, que l'on place dans un champ électrique uniforme  $\mathcal{E} = 10 \text{ V/m}$ . On coupe le champ après 1 ms. Calculer alors la vitesse  $v_1$ , la quantité de mouvement  $p_1$ , l'énergie cinétique  $K_1$  et l'énergie totale  $E_1$  de l'électron 1 dans le référentiel du laboratoire.
2. On considère la collision élastique de l'électron 1 avec un électron 2 au repos dans le référentiel du laboratoire. Calculer l'énergie  $E_0$  de l'électron 2.
3. Après collision élastique, les électrons ont des énergies totales  $E_1'$  et  $E_2'$  et des impulsions  $p_1'$  et  $p_2'$  faisant un angle  $\theta$ .
  - (a) Écrire  $E_0^2$  de trois manières différentes.
  - (b) Quelles sont les grandeurs conservées lors de la collision ? Écrire les relations correspondantes et en déduire ( $c'$  est difficile) que :

$$\cos \theta = \frac{(E_1' - E_0)(E_2' - E_0)}{c^2 p_1' p_2'}$$

Que peut-on dire de remarquable au sujet de  $\theta$ , par comparaison avec le cas non-relativiste ?

donnée : masse au repos de l'électron =  $9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

# 2 Physique quantique

## 2.1 Onde de Broglie

Des neutrons thermiques dont l'énergie cinétique est de 0,04 eV passent par deux fentes distantes de 0,1 mm. Quelle est la distance entre les franges sur la figure d'interférences apparaissant sur un écran situé 2 m en aval des fentes ?  
donnée : masse au repos du neutron =  $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

## 2.2 Inégalités de Heisenberg

1. Soit un électron dans un état excité. La différence d'énergie entre cet état et l'état fondamental est de 2,25 eV et la durée de vie de cet état excité est de 0,13  $\mu$ s.
  - (a) Quelle est la fréquence du photon émis au moment de la désexcitation ?
  - (b) Quelle est l'incertitude sur la fréquence de ce photon ?
2. On s'intéresse à l'électron, de charge  $q$ , d'un atome d'hydrogène. Calculer un ordre de grandeur  $\bar{E}$  en fonction de son impulsion typique  $p$  et du rayon caractéristique  $r$  de l'atome. Montrer que  $\bar{E}$  est atteint un minimum absolu pour  $\bar{r} = \hbar^2/m_e^2$  où  $\bar{E} = q^2/4\pi\epsilon_0$ , et calculer ce minimum. Comparer au cas classique (non-quantique).

## Inspirations et liens utiles

- Pour la Science n°323, septembre 2004 pour les câbles électrodynamiques  
- <http://stilton.knw.utwente.nl/abrrimp/audio.html>  
- <http://stilton.knw.utwente.nl/shrimp/video.html> pour la crevette