EXERCICE III : DES AURORES POLAIRES ET DES ÉLECTRONS (5 points)

1. Effets relativistes

1.1. Dilatation du temps

1.1.1. D'après les données $\Delta t = \gamma.\Delta t_0$ avec $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$.

Si $v \ll c$ alors $\gamma = 1$, le temps mesuré dans les deux référentiels est identique, il n'y a pas dilatation des durées.
Plus v se rapproche de la vitesse de la lumière c, plus γ augmente.
Dès lors la durée mesurée Δt est plus grande que celle Δt_0 mesurée dans le référentiel propre, le temps est dilaté. Il s'écoule plus vite dans le référentiel impropre en mouvement rectiligne uniforme que dans le référentiel propre.

1.1.2. $\Delta t = \dfrac{1}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}.\Delta t_0$.

Ici v = 0,10.c alors $\Delta t = \dfrac{1}{\sqrt{1-\dfrac{(0{,}10.c)^2}{c^2}}}.\Delta t_0$

$\Delta t = \dfrac{1}{\sqrt{1-0{,}10^2}}.\Delta t_0$

$\Delta t_0 = \Delta t.\sqrt{1-0{,}10^2}$

$\Delta t_0 = 1{,}0 \times \sqrt{1-0{,}10^2}$ = **0,99 ns** Cette valeur est très proche de Δt = 1,0 ns.
La dilatation des durées est peu marquée pour une particule de vitesse égale à 10% de celle de la lumière.

1.1.3. Si c a une valeur plus petite, alors le rapport $\dfrac{v^2}{c^2}$ se rapproche plus facilement de 1, ainsi le coefficient de dilatation des durées γ atteint plus facilement une valeur très élevée. Le phénomène de dilatation des durées est davantage perceptible.

1.2. Énergie cinétique et vitesse des électrons

1.2.1. La courbe (2) a l'allure d'une droite passant par l'origine. Ainsi E_C et $\dfrac{v^2}{c^2}$ sont reliées par une relation de proportionnalité.
Comme c est une constante, alors E_C est proportionnelle à v^2. Ceci correspond à la théorie classique pour laquelle $E_C = \dfrac{1}{2}.m.v^2$ avec m constante.

Par ailleurs, pour la courbe (1) on constate que le rapport $\dfrac{v^2}{c^2}$ est inférieur à 1. Ainsi l'électron a toujours une vitesse $v < c$; ce qui est en accord avec la théorie relativiste.

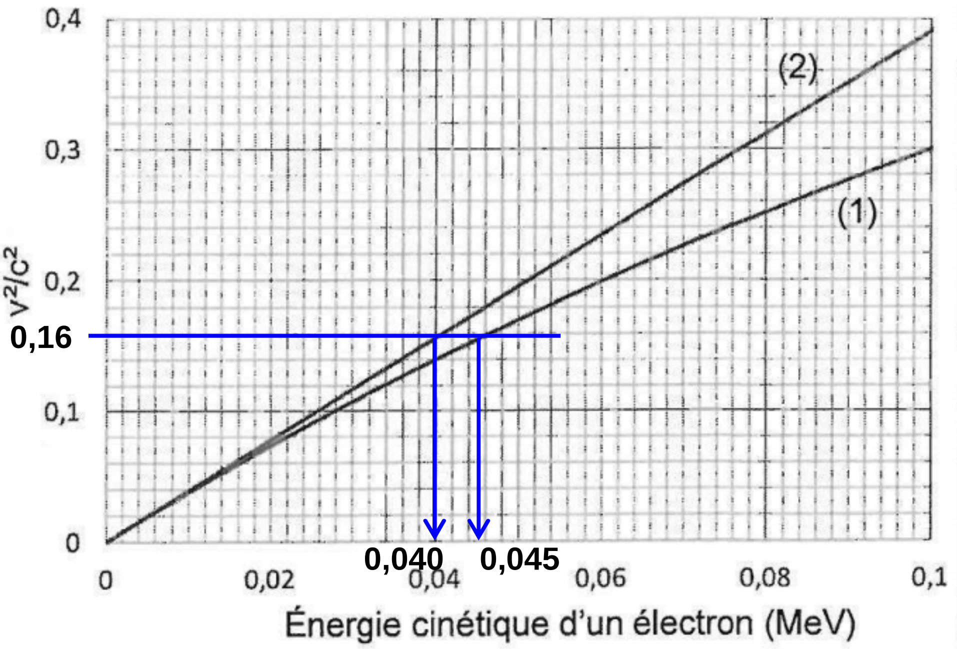
La courbe (2) montre que $\dfrac{v^2}{c^2}$ peut être supérieur à 1, ce qui implique un électron plus rapide que la lumière ; ce qui contredit la théorie relativiste.
<u>Conclusion :</u> courbe (1) théorie relativiste
courbe (2) théorie classique.

1.2.2. Déterminons la valeur du rapport $\frac{v^2}{c^2}$ avec v = 1,2×10^8 m.s^{-1}

$$\frac{v^2}{c^2} = \frac{\left(1{,}2\times10^8\right)^2}{\left(3{,}00\times10^8\right)^2} = 0{,}16$$

Remarque : la valeur de c n'est pas donnée, il faut la connaître.

On utilise le graphe (b), on lit les valeurs des énergies cinétiques correspondant aux deux modèles représentés par les courbes (1) et (2).



Modèle relativiste (courbe (1)) :
E_{C1} = 0,040 MeV

Modèle classique (courbe (2)) :
E_{C2} = 0,045 MeV

Déterminons l'écart relatif entre ces deux énergies :

$$\text{Écart relatif} = \frac{\left|E_{C2} - E_{C1}\right|}{E_{C1}}$$

$$\text{Écart relatif} = \frac{\left|0{,}045 - 0{,}040\right|}{0{,}040} = 0{,}125 = 12{,}5\ \%$$

L'écart est supérieur à 10%, ainsi les électrons doivent être considérés comme relativistes.

2. Les aurores polaires

2.1. Le domaine du visible s'étend de 400 à 800 nm, soit en moyenne λ_{moy} = 600 nm = 6,00×10^{-7} m.
Ainsi l'ordre de grandeur est de **λ_{moy} = 10^{-6} m**.
Remarque : l'ordre de grandeur du nombre a×10^n est 10^n si a ≤ 5 et est 10^{n+1} si a >5.

2.2. Les électrons en provenance du Soleil vont transférer une partie de leur énergie cinétique aux atomes d'oxygène ou d'azote. Ces atomes absorbent cette énergie et vont ensuite émettre des photons d'énergie $E = h.\frac{c}{\lambda}$ avec $\lambda = \lambda_{moy}$, ce qui crée l'aurore polaire.

On connaît l'énergie des photons, on sait que les électrons possédaient au moins cette énergie sous forme d'énergie cinétique. On accède donc à leur vitesse minimale.

$$E_C = \frac{1}{2}m.v^2 = E = h.\frac{c}{\lambda_{moy}} \quad \text{donc } v = \sqrt{\frac{2.\frac{h.c}{\lambda_{moy}}}{m}} = \sqrt{\frac{2.h.c}{\lambda_{moy}.m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2\times6{,}63\times10^{-34}\times3{,}00\times10^8}{10^{-6}\times9{,}11\times10^{-31}}} = 6{,}61\times10^5\,\text{m.s}^{-1}$$ donc un ordre de grandeur de **10^6 m.s^{-1}**.

Cet ordre de grandeur est très inférieur à la valeur de la question **1.2.2.** (1,2×10^{8}m.s^{-1}), pour laquelle les électrons étaient « légèrement » relativistes, donc les électrons responsables des aurores polaires n'ont pas besoin d'être relativistes.

<u>Compétences exigibles ou attendues :</u>
En noir : officiel (au B.O.)
En bleu (&italique) : officieux (au regard des sujets de Bac depuis 2013)

- Définir la notion de temps propre (ou durée propre).
- Exploiter la relation entre durée propre et durée mesurée.

*Remarque : l'expression du facteur de Lorentz γ n'est pas exigible mais il faut savoir que celui-ci est forcément supérieur à 1 (dans un cadre relativiste) ce qui implique une dilatation des durées pour l'observateur en mouvement **<u>par rapport</u>** aux deux événements définissant la durée étudiée.*

- Extraire et exploiter des informations relatives à une situation concrète où le caractère relatif du temps est à prendre en compte.
- Connaître les limites du spectre visible.
- Notion de quantum d'énergie : connaître et savoir utiliser la relation $E = h.\nu = h\frac{c}{\lambda}$