

DM1 : Désintégration des muons atmosphériques

Gabriel PEREIRA DE CARVALHO

Dernière modification 26 novembre 2023

1. La vitesse des muons cosmiques étant égale à $v \approx 0.995c$ dans le vide, calculer leur libre parcours moyen.

En utilisant la durée de vie propres des muons, on calcule le libre parcours moyen dans le référentiel du muon. On a $L_{impropre} = v\tau_p = 656,7\text{m}$.

2. Des muons, produits dans les hautes couches de l'atmosphère, à $\sim 10\text{ km}$ d'altitude, sont détectés au niveau de la mer. Montrer que ce fait ne peut s'expliquer qu'en invoquant la relativité restreinte, en justifiant votre réponse.

En utilisant la cinématique classique, le temps de chute est $\Delta t = \frac{10\text{km}}{v} = 3.35 \times 10^{-5}\text{s} > \tau_p$. Donc, ce ne serait pas possible de détecter ces muons au niveau de la mer car ils seraient déjà désintégrés.

Alors, en invoquant la relativité restreinte, considérons deux référentiels : un référentiel sur terre et le référentiel du muon. Le facteur de Lorentz est $\gamma \approx 10$. On s'intéresse à deux événements. **E1**, la création du muon et **E2** sa désintégration. On observe que dans le référentiel du muon, la mesure de temps entre E1 et E2 est propre, cependant la mesure de longueur de la chute est impropre.

Explication 1 : Dilation du temps

Dans le référentiel des muons, la mesure du temps de la chute est plus grande $\Delta t_{propre} = \frac{3.35 \times 10^{-5}\text{s}}{\gamma} = 3.35 \times 10^{-6}\text{s}$.

Explication 2 : Contraction des longueurs

Dans le référentiel des muons, la mesure de la longueur de la chute est plus courte $L_{impropre} = \frac{10\text{km}}{\gamma} = 1\text{km}$. Donc, dans le référentiel des muons, on a le temps de chute $\Delta t = \frac{L_{impropre}}{v} = 3.35 \times 10^{-6}\text{s}$.

Conclusion

On en conclue que le temps de la chute dans le référentiel du muon est le même pour ces deux interprétations et $< \tau_p$. Donc, le muon peut être détecté au niveau de la mer.

3. Effectuez un raisonnement identique pour les pions, dont la vitesse est égale à 0.99995 fois la vitesse de la lumière, et la durée de vie de $2,6 \times 10^{-8}$ s, et indiquer sur quelle distance ils peuvent être détectés au sein des détecteurs de particules.

Analogiquement, considérons deux référentiels : un référentiel sur terre et le référentiel du pion. Le facteur de Lorentz est $\tilde{\gamma} \approx 100$.

Explication 1 : Dilation du temps

On considère le cas limite où $\tau_{pion} = \Delta t_{propre}$, le temps de la chute dans le référentiel du pion. On a $\Delta t_{propre} = \frac{\Delta t_{impropre}}{\tilde{\gamma}} = \frac{L_{propre}}{\tilde{\gamma}v} \implies L_{propre} = \tilde{\gamma}v\tau_{pion}$.

Explication 2 : Contraction des longueurs

Dans le référentiel du pion, la mesure de la longueur de la chute est $L_{impropre} = \frac{L_{propre}}{\tilde{\gamma}}$. Donc, dans le cas limite où $\tau_{pion} = \Delta t_{propre}$ on a $L_{propre} = \tilde{\gamma}L_{impropre} = \tilde{\gamma}v\Delta t_{propre} = \tilde{\gamma}v\tau_{pion}$.

On en conclue, pour les deux explications, que la hauteur maximale où on arrive à détecter le pion est $L_{propre} = 779,961\text{m}$.