

Cours de Relativité et principes variationnels (PHY 431)
Ecole polytechnique – Ingénieur – 2ème année
Année 2023-2024
Pr. Sylvain Chaty

PC1 : Bases de la relativité restreinte (22/11/2023)

Notions : Introduction historique, Postulats d'Einstein, Référentiels en relativité, *Dilatation du temps*, *Contraction des longueurs*, *Relativité de la simultanéité*, *Transformation de Lorentz (spéciale)*, *Loi de composition relativiste des vitesses*, Limite non-relativiste

Exercice à rendre pour le 27/11/2023

Le rayonnement cosmique primaire, composé de particules énergétiques provenant de l'espace, bombarde en permanence la Terre, interagissant avec les molécules composant l'atmosphère, et en particulier les électrons et les noyaux des atomes. Lors de sa propagation dans l'atmosphère, chaque particule du rayonnement cosmique interagit suivant un mécanisme différent avec les particules de l'atmosphère, ce qui modifie la composition du rayonnement cosmique, en développant une *gerbe* de particules dites secondaires.

Par collision avec les noyaux de l'atmosphère, les protons et autres noyaux du rayonnement cosmique produisent des particules instables, essentiellement des pions (π_0 , π_+ et π_-), puis de nouvelles collisions produisent de nouvelles particules, jusqu'à épuisement de l'énergie. Les pions neutres se désintègrent immédiatement ($\tau \sim 10^{-16}$ s) en deux photons, contribuant à la partie électromagnétique de la gerbe, et les pions chargés, de durée de vie plus longue ($\tau \sim 2.6 \times 10^{-8}$ s), se désintègrent en neutrino ν et en muon μ .

Le muon, une particule chargée dont la masse au repos est $m_\mu \simeq 207m_{e^-}$, se désintègre en électron, neutrino muonique ν_μ et antineutrino électronique $\bar{\nu}_e$, selon la réaction suivante :



et selon la loi exponentielle :

$$n(t) = n_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (2)$$

où $n(t)$ est le nombre de muons à l'instant t , et τ la durée de vie des muons.

Il est possible de mesurer $n(t)$ dans un référentiel lié au laboratoire, en arrêtant les muons dans une masse métallique. A partir de la courbe donnant $n(t)$, on obtient la durée de vie propre des muons :

$$\tau_p \simeq 2.2 \times 10^{-6} \text{ s} \quad (3)$$

- La vitesse des muons cosmiques étant égale à $v \simeq 0.995c$ dans le vide, calculer leur libre parcours moyen.
- Des muons, produits dans les hautes couches de l'atmosphère, à ~ 10 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 (2 explications possibles).
- Effectuer 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 2.6×10^{-8} s, et indiquer sur quelle distance ils peuvent être détectés au sein des détecteurs de particules.