

Licence de Physique L2 Relativité Restreinte Session Mai 2009.

Durée : 2 heures sans notes et avec calculatrice.

Problème I

1. Calculer les composantes du quadrivecteur potentiel électromagnétique créé au point $M(x,y,z)$ à l'instant t par une charge q en mouvement à vitesse uniforme u suivant la direction Ox (pour une charge au repos on rappelle l'expression du potentiel

electrostatique : $\phi(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$)

2. En déduire l'expression suivante du champ électrique créé par cette charge en M

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \gamma \frac{\vec{r}}{(y^2 r_x^2 + r_y^2 + r_z^2)^{3/2}}$$

où $r_x = x - ut$, $r_y = y$, $r_z = z$

3. Expliquez sans calcul comment on aurait pu obtenir plus directement le même résultat?

Problème II

On considère la réaction de fusion nucléaire des noyaux de Deuterium (1 proton + 1 neutron) et de Tritium (1 proton + 2 neutrons) au repos en noyau d' Helium (2 protons + 2 neutrons) et neutron:

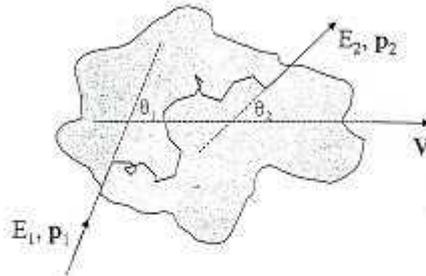


Les masses des noyaux sont indiquées entre parenthèses.

1. Ecrire les équations de conservation de l'énergie et de l'impulsion
2. On supposera les impulsions petites par rapport aux masses en jeu ($(p/m_{\text{He}})^2 \ll 1$, $(p/m_n)^2 \ll 1$) pour effectuer les DL au premier ordre $(1+\epsilon)^{1/2} \sim 1+\epsilon/2$ et obtenir les impulsions des produits de la réaction.
3. En déduire les énergies totales, cinétiques et les vitesses des produits de la réaction. Sont ils relativistes? Dans un plasma de Deuterium et Tritium à 100 millions de degrés les noyaux ne sont en réalité pas au repos mais ont des énergies cinétiques de l'ordre de $10 \text{ keV}/c^2$. Justifier toutes les approximations effectuées.
4. Quelle est l'origine de l'énergie libérée sous forme cinétique?
5. Quelle masse de Deuterium et de Tritium faudrait il consommer par an pour satisfaire la demande énergétique mondiale de près de 10^{14} kWh ?

Problème III

Une particule relativiste ($E \gg mc^2$) de charge q pénètre dans un nuage interstellaire avec une énergie E_1 (resp E_1) et sous un angle θ_1 (resp θ_1) dans le référentiel lié au nuage (resp un référentiel dans lequel le nuage a une vitesse v) et y subit des diffusions multiples sur les champs magnétiques avant de ressortir avec une énergie E_2 (resp E_2) et sous un angle θ_2 (resp θ_2).



1. Analyser dans R' où la particule ne subit que des influences purement magnétiques la composante temporelle de la RFD relativiste $dp^\mu/d\tau = qv^\nu F^{\mu\nu}$ pour en déduire une relation entre E_1 et E_2 .
2. Exprimer E_1 en fonction de E_2 et $\cos(\theta_1)$
3. Exprimer E_2 en fonction de E_1 et $\cos(\theta_2)$
4. En déduire $(E_2 - E_1) / E_1 = (1 - \beta \cos(\theta_1) + \beta \cos(\theta_2) - \beta^2 \cos(\theta_1) \cos(\theta_2)) / (1 - \beta^2) - 1$ où $\beta = v/c$
5. En moyenne la particule ressort du nuage avec une direction aléatoire donc en moyenne $\cos(\theta_2) = 0$. Que se passe-t-il alors lorsque la collision avec le nuage est en moyenne frontale $\cos(\theta_1) < \beta$? fuyante $\cos(\theta_1) > \beta$?
6. Calculer E_2 / E_1 dans le cas d'une collision telle que $\cos(\theta_2) = 1$ et $\cos(\theta_1) = -1$ et comparer le résultat avec le cas d'un photon subissant une réflexion sur un miroir en mouvement.
7. Les collisions frontales étant en moyenne plus fréquentes que les collisions fuyantes, on pense qu'une multiple succession de telles collisions est susceptible d'être à l'origine de particules de haute énergie (rayons cosmiques). Combien de temps faudrait-il à un proton de 1 TeV (10^{13} eV) ainsi produit pour traverser les 10^3 a.l de diamètre de notre galaxie dans le référentiel lié au proton?