

Conformément à l'usage typographique international, les vecteurs sont représentés en gras

Questions de cours

- Energies de liaison
 - Donner l'ordre de grandeur de l'énergie de liaison B/A d'un noyau. Comment se compare B/A à l'énergie de masse d'un nucléon?
 - Tracer la courbe B/A en fonction de A . On précisera les valeurs des axes des abscisses et des ordonnées.
- On considère un modèle de goutte liquide décrivant un noyau de A nucléons, Z protons et N neutrons. Donner l'expression de l'énergie par nucléon E/A en fonction de A et Z (formule de Bethe-Weizsäcker). On donnera la valeur numérique des constantes.
- Exprimer le rayon d'un noyau R en fonction du nombre de nucléons A . On donnera la valeur numérique de la constante.
 - AN : Rayon de $^{40}\text{Ca} = ?$; Rayon de $^{208}\text{Pb} = ?$
 - Comment évolue la densité de matière ρ_0 au centre d'un noyau lourd en fonction de la masse A du noyau ? Donner une estimation de ρ_0 . Faire l'application numérique.

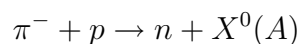
Changement de chronologie de deux événements

On considère une barre AB , de longueur propre $L = 1$ m, qui se déplace, à la vitesse $\mathbf{u} = u\mathbf{e}_x$, avec $u = 0,8c$, par rapport au référentiel du laboratoire $\mathcal{R} = Oxyz$, le long de l'axe horizontal Ox . Sur cet axe de \mathcal{R} se trouve une seconde barre OE de même longueur propre $L = 1$ m. On désigne par E_1 l'événement origine pris lorsque les deux extrémités O et B coïncident, E_2 l'événement lorsque les extrémités O et A coïncident, E_3 l'événement lorsque les extrémités E et B coïncident. On note $\mathcal{R}' = Ox'y'z'$ le référentiel lié à la barre AB .

- Calculer les coordonnées spatio temporelles de E_2 dans \mathcal{R} et dans \mathcal{R}' . En déduire le carré de l'intervalle entre E_1 et E_2 .
- Mêmes questions pour E_3 .
- Comparer la chronologie entre les trois événements dans \mathcal{R} et dans \mathcal{R}' . Commenter en calculant le carré de l'intervalle entre E_2 et E_3 .

Cinématique relativiste : application à l'étude des spectres de masse des mésons

On se propose de rechercher dans la réaction



des mésons X^0 , de faible durée de vie, qui se désintègrent électromagnétiquement en $X^0 \rightarrow \gamma + \gamma$. Le spectre de masse m_0 des X^0 , où les résonances mésoniques sont mises en évidence sous forme de pics, peut être étudié selon deux méthodes qui font l'objet du problème. Pour des raisons de simplification dans les notations, nous conseillons de poser la vitesse de la lumière c égale 1 dans les calculs de cinématique relativiste.

Avec cette convention, les impulsions, les masses et les énergies s'expriment en GeV, et les vitesses $v = \beta c$ sont égales à β .

On dispose d'un faisceau de π^- , d'impulsion p , que l'on envoie sur une cible de protons, constituée d'hydrogène liquide.

1. Calculer l'énergie totale M du système du centre de masse $\pi^- p$, ainsi que β_{CM} la vitesse de ce système dans le laboratoire et $\gamma_{CM} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta_{CM}^2}}$.

Soit m_0 la masse de X^0 , exprimer l'impulsion p^* du neutron ou de X^0 dans le système du centre de masse en fonction de M , m_n et m_0 .

Il est recommandé d'utiliser les quadrivecteurs énergie-impulsion pour effectuer ces calculs.

2. Exprimer la relation qui existe entre les angles d'émission du neutron θ_n et θ_n^* dans le laboratoire et le centre de masse, en fonction de β_{CM} et de β^* , vitesse du neutron dans le centre de masse (les angles sont mesurés par rapport à la direction incidente du π^-). Quelle relation doit-il exister entre β_{CM} et β^* pour que l'angle θ_n du neutron soit inférieur ou égal à $\pi/2$? Cette condition étant réalisée, calculer l'angle maximum θ_n^{max} d'émission du neutron en fonction de β^* et β_{CM} .

3. Soit un dispositif expérimental qui mesure les angles θ_n et les temps de vol τ_n sur une distance L , pour les neutrons produits dans la réaction (A) à partir des π^- , d'impulsion p . Calculer la masse m_0 de X^0 . Montrer que pour un m_0 donné, la valeur de $\cos \theta_n^{max}$ est indépendante de l'impulsion P_n du neutron dans le laboratoire.

Quelles conclusions pratiques peut-on déduire de cette propriété en ce qui concerne l'utilisation du dispositif expérimental?

Avec un faisceau de π^- d'impulsion 3 GeV/c, on veut mesurer le spectre de masse de X^0 dans un domaine compris entre 500 et 600 MeV/c². Déterminer les angles maxima d'émission des neutrons pour des masses de X^0 égales à 500 et 600 MeV/c².

4. Soit un méson X^0 , de masse m_0 et d'impulsion p_{x0} , produit dans la réaction (A). Il se désintègre en $X^0 \rightarrow \gamma + \gamma$. Trouver la relation entre ϕ , l'angle d'ouverture entre les deux gammas, et θ^* , l'angle d'émission des gammas dans le système au repos du X^0 . Sous l'hypothèse d'une distribution angulaire isotrope des γ dans le système au repos du X^0 , calculer la distribution $\frac{dI}{d\phi}$ de l'angle d'ouverture ϕ ; montrer qu'à la valeur minimum de ϕ , correspond un maximum pour $\frac{dI}{d\phi}$ et que dans ce cas, la désintégration des deux gammas est symétrique par rapport la direction incidente du X^0 .

Exprimer ϕ_{min} en fonction de p_{x0} et m_0 .

5. Après avoir sélectionné les neutrons de la réaction (A) dans la région de l'angle maximum correspondant à un domaine de masse de X^0 compris entre 500 et 600 MeV/c², on désire étudier le mode de désintégration en deux gammas des X^0 .

Les angles θ_1 et θ_2 des gammas, par rapport à la direction du π^- incident, sont mesurés dans une chambre à étincelles à plaques de plomb. Les gammas produisent dans le plomb des gerbes d'électrons qui sont visualisées sous forme d'étincelles dans la chambre.

Montrer que l'angle d'ouverture ϕ^* entre les deux γ , dans le système du centre de masse $\pi^- p$, peut être calculé à partir des mesures des angles θ_1 et θ_2 dans le laboratoire. La distribution des angles ϕ^* présentant un maximum pour une valeur ϕ_{min}^* , calculer la masse m_0 du X^0 en fonction de l'énergie totale M dans le centre de masse, de m_n la masse du neutron et de ϕ_{min}^* . Trouver m_0 sachant que $\phi_{min}^* = 56^\circ 8$.

DONNÉES NUMÉRIQUES

Masse du π^- : $m_{\pi^-} = 0,14 \text{ GeV}/c^2$

Masse du proton : $m_p = 0,938 \text{ GeV}/c^2$

Masse du neutron : $m_n = 0,939 \text{ GeV}/c^2$.