

Physique subatomique - MP113
Examen de mi-semestre
Mercredi 14 novembre 2012

Durée : 1h30

Les calculatrices "raisonnables" sont autorisées, les téléphones portables ne le sont pas.

Tout document est interdit.

4 pages imprimées

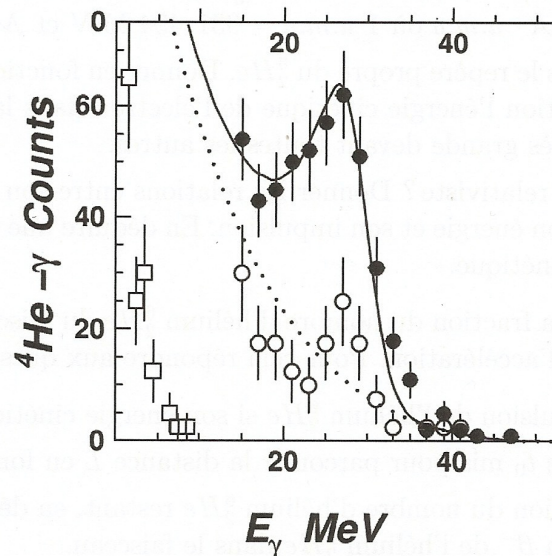
Exercice 1 Etude du noyau ${}^6_2\text{He}$, riche en neutrons

Dans un article publié dans Phys.Rev.Lett.87,2001, E. Sauvan et al. ont étudié la structure du noyau d'hélium ${}^6_2\text{He}$ en faisant interagir, au GANIL¹, un faisceau de noyaux de ${}^6_2\text{He}$ sur une cible de deutérium solide. Il ont mis en évidence pour la première fois un halo de neutrons dans ce noyau.

1. L'hélium ${}^6_2\text{He}$ est un noyau émetteur β^- d'une demi-vie de 0,808 seconde.
 - (a) Ecrire la réaction de désintégration β^- de l'hélium ${}^6_2\text{He}$.
 - (b) Donner le bilan énergétique Q_{β^-} de la réaction.
On donne $\Delta({}^6_2\text{He}) = 17,5970$ MeV, $\Delta({}^6_3\text{Li}) = 14,0873$ MeV, $\Delta({}^6_1\text{H}) = 41,8757$ MeV avec $\Delta = \mathcal{M} - \mathcal{A} \cdot u.m.a$ où $1 u.m.a = 931,494$ MeV et \mathcal{M} est la masse atomique.
 - (c) On se place dans le repère propre du ${}^6_2\text{He}$. Donner en fonction du bilan énergétique Q_{β^-} de la désintégration l'énergie cinétique de l'électron dans la configuration cinématique où celle-ci est très grande devant toutes les autres.
 - (d) L'électron est-il relativiste? Donner les relations entre son énergie et son énergie cinétique, et entre son énergie et son impulsion. En déduire une relation entre son impulsion et son énergie cinétique.
2. On veut déterminer la fraction du nombre d'hélium ${}^6_2\text{He}$ du faisceau restant après $L = 10\text{m}$, longueur de la zone d'accélération. Pour cela répondre aux questions suivantes :
 - (a) Quelle est l'impulsion de l'hélium ${}^6_2\text{He}$ si son énergie cinétique est de $T_{\frac{6}{2}\text{He}} = 240$ MeV.
 - (b) Donner le temps t_0 mis pour parcourir la distance L en fonction des données.
 - (c) Calculer la fraction du nombre d'hélium ${}^6_2\text{He}$ restant, en déduire que l'on peut négliger la désintégration β^- de l'hélium ${}^6_2\text{He}$ dans le faisceau.
3. Après l'interaction entre le faisceau d'hélium ${}^6_2\text{He}$ avec la cible, des noyaux de lithium ${}^7_3\text{Li}$ sont produits.
 - (a) D'après le modèle en couche, donner le spin et la parité de l'état fondamental du noyau de lithium ${}^7_3\text{Li}$ et de son premier état excité d'énergie 0.478 MeV.
 - (b) Donner une estimation numérique du couplage spin-orbite dans le noyau de lithium ${}^7_3\text{Li}$.
4. Le noyau ${}^6_2\text{He}$ est formé d'un coeur de particule alpha et de deux neutrons en interaction avec ce coeur. On parle de noyau ayant un halo de neutrons. La mise en évidence de cette structure se fait par l'observation de la réaction ${}^4_2\text{He} + p \rightarrow {}^5_3\text{Li} + \gamma$ (le proton fait partie du noyau du deutérium). Les deux neutrons de ${}^6_2\text{He}$ étant spectateurs, ils n'interviennent pas dans la réaction.

1. Grand Accélérateur National d'Ions Lourds

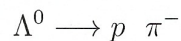
- (a) La prise de données a duré 2 jours et on a observé $N_{obs} = 400$ événements de ce type avec une efficacité de détection de $\epsilon = 0,04$. Le faisceau 6_2He contenant $N_p = 5 \cdot 10^5$ noyaux par seconde; la cible est composée de deutérium solide de masse surfacique $\rho = 95 \text{ mg/cm}^2$.
A partir de ces données, obtenir la section efficace de cette réaction. Commenter le résultat numérique obtenu. Le nombre d'atomes-cibles sera considéré comme constant.
- (b) Quel est le spin et la parité d'une particule α ? Argumenter brièvement.
- (c) Ecrire les quadrivecteurs du proton et du coeur α du 6_2He dans le référentiel du laboratoire. Calculer la racine carrée \sqrt{s} du carré de la norme de la somme de ces quadrivecteurs. Donner une interprétation physique de \sqrt{s} .
L'énergie cinétique de la particule alpha est de $T_\alpha = 160 \text{ MeV}$. On a $\Delta({}^4_2He) = 2.429 \text{ MeV}$, $\Delta({}^1_1H) = 7.289 \text{ MeV}$ et $m_e = 0.511 \text{ MeV}$.
- (d) Dans le référentiel du centre de masse de la réaction, écrire le quadrivecteur somme du proton et de la particule α en fonction de \sqrt{s} . Ecrire aussi, symboliquement, les quadrivecteurs du photon et du 5_3Li .
- (e) Calculer l'énergie du photon dans le centre de masse de la réaction. On a $\Delta({}^5_3Li) = 11.68 \text{ MeV}$.
- (f) Le noyau de 5_3Li est instable, et se désintègre par émission alpha. Ecrire la réaction de désintégration.
- (g) Interpréter la figure ci-dessous extraite de l'article de E. Sauvan et al.



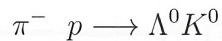
Distribution en énergie des photons en coincidence avec des particules α . Les points noirs sont les données. Les points blancs sont les données si on rajoute la detection de neutrons dans la coincidence. La courbe pleine est la simulation du processus et la courbe pointillée la simulation du bruit de fond. Les carré représentent l'impulsion des neutrons en coincidence.

Exercice 2 Cinématique relativiste - production du Λ^0

On considère le mode de désintégration hadronique du baryon Λ^0 en proton-pion :



1. Déterminer l'énergie du proton et du pion dans le référentiel où le Λ^0 est au repos.
2. La réaction de production de ce baryon Λ^0 dans une expérience de cible fixe est :



Dans notre cas, un faisceau de π^- est envoyé sur un cible fixe de proton.
Quelle est l'énergie cinétique minimum des π^- pour que la réaction ait lieu ?

3. En réalité, l'énergie cinétique des π^- est de 2 GeV.
 - (a) Calculer \sqrt{s} , l'énergie totale disponible dans le centre de masse.
 - (b) Déterminer l'énergie E_Λ^* du Λ^0 et l'énergie E_K^* du K^0 dans le référentiel du centre de masse de la réaction.
 - (c) Toujours dans le référentiel du centre de masse de la réaction, calculer les impulsions minimales et maximales des produits de désintégration de Λ^0 appelées respectivement $p_{p,min}^*$, $p_{p,max}^*$, $p_{\pi,min}^*$ et $p_{\pi,max}^*$.
 - (d) Même question pour les produits de la désintégration du $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$.
 - (e) Déterminer l'énergie minimale E_Λ^{min} et l'énergie maximale E_Λ^{max} du Λ^0 dans le référentiel du laboratoire.
 - (f) Déterminer la distance moyenne minimale et maximale parcourue par le Λ^0 dans le laboratoire.
 - (g) Déterminer, dans le référentiel du laboratoire, l'énergie minimale et maximale du proton provenant de la désintégration du Λ^0 .

Données :

Masse : $m_{\Lambda^0} = 1115,68 \text{ MeV}$, $m_p = 938,27 \text{ MeV}$, $m_\pi = 139,57 \text{ MeV}$, $m_{K^0} = 497,69 \text{ MeV}$

Temps de vie : $\tau_{K^0} = 0,9 \cdot 10^{-10} \text{ s}$, $\tau_{\Lambda^0} = 2,610^{-10} \text{ s}$

