Université Paul Sabatier de Toulouse, année universitaire 2010-2011

L3 LICENCE PHYSIQUE CHIMIE APPLICATION

Mention physique fondamentale

2L60PY2 RELATIVITÉ/PHYSIQUE NUCLEAIRE

TD 6

Durée : 3 h

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

1. Perte d'énergie maximale d'une particule au cours d'une collision élastique

En traversant la matière, des particules très rapides perdent une partie de leur énergie incidente par collisions avec les électrons atomiques. En raison de la grande énergie cinétique que ces derniers acquièrent au cours d'une collision, on peut considérer que la collision entre la particule projectile A_1, de masse m_1, et l'électron atomique cible au repos (masse m_e) est élastique.
Après collision, on désigne par θ_1 l'angle de diffusion de A_1 et par θ_2 l'angle que fait l'électron cible avec la direction incidente du projectile. On considère les deux cas suivants :

i. A_1 est un électron, d'énergie cinétique $\epsilon_{k,1} = 3$ MeV,

ii. A_1 est un photon, d'énergie cinétique $\epsilon_{k,1} = 2$ MeV.

La question 3 peut être traitée indépendamment de la question 2.

1. Calculer, dans les deux cas, pour le projectile A_1, l'énergie ϵ_1 en MeV, le facteur relativiste γ_1, le facteur β_1, rapport de sa vitesse sur c, et la quantité de mouvement p_1 en MeV.c^{-1}. Quelle est, en pm, la valeur de la longueur d'onde du photon incident ?
2. (a) Exprimer les lois auxquelles satisfont le vecteur quantité de mouvement et l'énergie du système de particules.

   (b) On désigne par p'_2 la norme de la quantité de mouvement de l'électron cible A_2, après collision, et par $\epsilon'_{k,2}$ son énergie cinétique. Quelle est la relation entre p'_2c et $\epsilon'_{k,2}$?

   (c) En éliminant, dans les lois précédentes sur les collisions, les caractéristiques dynamiques de la particule incidente diffusée A'_1, établir la relation suivante entre $\epsilon'_{k,2}$, p'_2c et θ_2 :

   $$\epsilon'_{k,2}(\epsilon_1 + K) = p_1 c p'_2 c \cos\theta_2,$$

   dans laquelle K est une combinaison de constantes fondamentales dont on donnera la dimension physique, l'expression et la valeur.

   (d) Déduire de l'équation précédente et de la relation entre p'_2c et $\epsilon'_{k,2}$ obtenue en b), l'expression de $\epsilon'_{k,2}$ en fonction de θ_2.
3. (a) Montrer que la perte d'énergie maximale Q_{max} du projectile a pour expression :

   $$Q_{max} = \frac{2K(\gamma_1 + 1)m_1c^2}{m_1^2c^4 + m_e^2c^4 + 2\gamma_1 m_e c^2 m_1 c^2}\epsilon_{k,1}.$$

   (b) Que vaut Q_{max} dans le cas où le projectile A_1 est l'électron ? Approximation newtonienne. Commenter.

2. Energie seuil des réactions endoénergétique

i. On considère la réaction endoénergétique

$$(1) + (2) \rightarrow (3) + (4) + (5) + ...,$$

(1) désignant la particule incidente et (2) la particule cible supposée initialement au repos dans le laboratoire.
Etablir l'expression de l'énergie cinétique minimum que doit posséder la particule incidente, dans le laboratoire, pour que la réaction ait lieu. On supposera qu'il s'agit d'une réaction à basse énergie et que les particules interviennent toutes dans leur état fondamental. Cette énergie minimum est appelée énergie seuil de la réaction.
Quelle serait l'expression de l'énergie seuil si l'on désirait que l'un des noyaux de la voie de sortie soit produit dans un état excité d'énergie E_{ex} au dessus du fondamental ?

ii. Application numérique : calculer l'énergie seuil de la réaction ${}^{24}{}_{12}\mathrm{Mg}(\alpha,\mathrm{p}){}^{27}{}_{13}Al$.
   A. lorsque le noyau d'aluminium est produit dans son état fondamental.
   B. lorsque le même noyau est produit dans son état excité $E_{ex} = 2{,}212$ MeV.

iii. On suppose maintenant que la réaction s'effectue à haute énergie.
En utilisant les propriétés du quadrivecteur impulsion-énergie, établir l'expression relativiste de l'énergie seuil.
A partir de cette expression et en faisant les approximations convenables, retrouver l'énergie seuil correspondant à une réaction basse énergie.
Donner l'expression relativiste de l'énergie seuil correspondant à la création d'une masse M, en une ou plusieurs particules, les particules de la voie d'entrée se retrouvant dans la voie de sortie. Donner l'expression relativiste de l'énergie seuil dans le cas particulier où la particule incidente est un photon.

iv. A. Application numérique : calculer l'énergie seuil de la réaction

$$\pi^- + p \to \Lambda^0 + K^0.$$

   B. Calculer l'énergie seuil de la réaction

$$p + p \to p + p + p + \bar{p}.$$

   C. Calculer l'énergie minimum que doit avoir un photon pour pouvoir "casser" le deuton.

Grandeurs physiques fondamentales et données particulaires.

Vitesse de la lumière dans le vide : $c \simeq 3 \times 10^8$ m.s^{-1}
Charge élémentaire : $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C
Constante de Planck : $h = 6{,}626 \times 10^{-34}$ J.s.
Energie de masse de l'électron : $m_e c^2 = 0{,}511$ MeV.
Energie de masse de l'hélion : $m_\alpha c^2 = 3727$ MeV.
Energie de masse du muon : $m_\mu c^2 = 105{,}6$ MeV.

Masses atomiques	Energies au repos
${}^{24}_{12}\mathrm{Mg} = 23{,}985042$ u	π^- : 139,58 MeV
${}^{4}_{2}\mathrm{He} = 4{,}002603$ u	p et $\bar{p}$: 938,25 MeV
${}^{1}_{1}\mathrm{H} = 1{,}007825$ u	Λ^0 : 1115,5 MeV
${}^{27}_{13}\mathrm{Al} = 26{,}981539$ u	K^0 : 497,75 MeV
${}^{2}_{1}\mathrm{H} = 2{,}014102$ u	
${}^{1}_{0}\mathrm{n} = 1{,}008665$ u	
u = 931,48 MeV	