

L3 LICENCE PHYSIQUE CHIMIE APPLICATION

Mention physique fondamentale

2L5PY21 RELATIVITÉ/PHYSIQUE NUCLEAIRE

Examen terminal du vendredi 15 septembre

Durée : 3h

*Tout document interdit*

**Questions de cours** (Répondre sur la feuille)

1. Rappeler la séquence des nombres magiques nucléaires.

Donner trois exemples de noyaux doublement magiques.

Donner une observable physique dans laquelle on observe que ces nombres sont "magiques".

Citer un modèle nucléaire simple qui permet de comprendre les valeurs de ces nombres magiques.

Quel terme particulier de l'hamiltonien joue un rôle crucial?

La situation est-elle comparable au cas atomique?

2. A quoi correspondent les résonances géantes?

Citer deux exemples de telles résonances (on précisera la nature du mouvement).

S'agit il de mouvements collectifs?

Donner les valeurs des énergies de ces résonances en fonction de la taille du noyau  $A$ .

**Exercice : Mouvement d'une particule chargée dans un champs électrique uniforme et indépendant du temps**

On considère une particule chargée, de charge  $q$ , en mouvement par rapport à un référentiel galiléen (R) où existe un champs électrique uniforme et indépendant du temps,  $\mathbf{E}_s$  dirigé suivant l'axe  $Ox$ . A l'instant initial,  $t=0$ , la particule est à l'origine du repère R et est animée d'une vitesse initiale  $\mathbf{v}_0$  parallèle à l'axe  $Oy$  et donc perpendiculaire au champ électrique.

1) Etudier le mouvement de cette particule par rapport au référentiel R et donner l'équation cartésienne de sa trajectoire dans le cadre de la mécanique relativiste.

Au cours de ce calcul, on exprimera la vitesse de la particule en fonction de l'impulsion et de l'énergie, ainsi que l'énergie en fonction du temps.

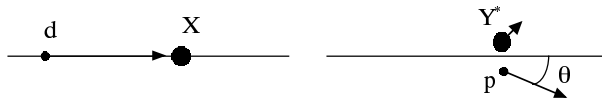
2) Retrouver l'expression de la trajectoire classique dans l'approximation non relativiste.

On donne:

$$- \int \frac{du}{\sqrt{1+u^2}} = \text{Argsh}(u)$$

$$- ch^2(u) - sh^2(u) = 1$$

$$- \text{si } |u| \ll 1 \text{ alors } ch(u) \approx 1 + \frac{u^2}{2}$$



### Problème : Mesure des niveaux en énergie d'un noyau

Un deuteron d'énergie cinétique initiale  $E_i$  donne un neutron à un noyau d'atome (noté X) supposé initialement au repos. Après l'interaction, le proton a une direction qui fait un angle  $\theta$  par rapport à la direction initiale du deuteron.

Le proton a une énergie cinétique  $E_p$  et le noyau se retrouve dans un état excité, noté  $Y^*$  (voir figure). La réaction s'écrit :  ${}^2\text{H} + {}^A\text{X} \rightarrow p + {}^{A+1}\text{Y}^*$ .

La masse du noyau excité est  $m_{Y^*} = m_Y + \frac{E}{c^2}$ , avec  $m_Y$  la masse du noyau dans son niveau fondamental et  $E$  l'énergie de l'état excité.

L'expérience est faite avec des deutons d'énergie  $E_d=14.95$  MeV sur une cible en  ${}^{16}\text{O}$ . Un détecteur mesure l'énergie des protons émis à  $\theta=19^\circ$ . Les résultats des mesures donnent les valeurs de  $E_p$  suivantes : 11.42, 11.97, 12.69, 13.50, 15.74, 16.62 MeV.

1. A partir de l'expression relativiste de l'énergie cinétique des protons ( $E_p$ ), montrer que, pour cette expérience (énergies des protons  $\leq 10$  MeV),  $E_p \approx \frac{p_p^2}{2m_p}$ , avec  $m_p$  et  $p_p$  la masse et la quantité de mouvement du proton.
2. A partir des lois de conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement non-relativistes, montrer que dans le repère du laboratoire, l'énergie d'un niveau excité  $E$  s'écrit :

$$E = E_d \left(1 - \frac{m_d}{m_{Y^*}}\right) - E_p \left(1 + \frac{m_p}{m_{Y^*}}\right) + 2 \frac{\sqrt{m_p m_d E_d E_p}}{m_{Y^*}} \cos\theta + E_0$$

avec  $m_d$ ,  $m_p$  et  $m_{Y^*}$  les masses du deuton, du proton et du noyau Y excité.  $E_d$  et  $E_p$  sont les énergies cinétiques du deuton et du proton, et  $E_0 = m_X c^2 + m_d c^2 - m_p c^2 - m_Y c^2$ .

N.B. On exprimera d'abord  $E$  en fonction de  $m_{Y^*}$ ,  $m_d$ ,  $m_p$  et des quantités de mouvement du deuton et du proton.

3. Calculer  $E_0$  et  $m_Y c^2$  puis simplifier l'expression de  $E$  en prenant en compte le fait que les valeurs de  $E$  sont inférieures à 10 MeV.
4. Déterminer les niveaux en énergie des états excités du noyau  ${}^{17}\text{O}$  à partir des valeurs de  $E_p$  mesurées.
5. En reprenant l'équation de la question 2, calculer la solution exacte de l'expression de  $E$  en fonction de  $E_p$ ,  $E_d$ ,  $m_Y$ ,  $m_X$  et  $\theta$ .
6. Calculer alors la valeur exacte du niveau en énergie du  ${}^{17}\text{O}$  associé aux protons émis à  $19^\circ$  avec une énergie  $E_p=12.69$  MeV. Discuter de l'approximation utilisée à la question 3.

### DONNÉES NUMÉRIQUES :

$$\begin{aligned} m_p &= 1.007825 \text{ u} \\ m_d &= 2.014102 \text{ u} \\ m_{{}^{16}\text{O}} &= 15.994915 \text{ u} \\ m_{{}^{17}\text{O}} &= 16.999131 \text{ u} \\ 1 \text{ u} &= 931.48 \text{ MeV}/c^2. \end{aligned}$$