T.D.Physique nucléaire

ENS-Lyon Master I

Désintégration α

Le but de ce T.D. est de modéliser la radioactivité α. On étudiera le modèle très simple proposé par Gamov en 1928. La théorie de Gamov prévoit que la probabilité de désintégration α est égale au produit de trois termes :

- la probabilité de formation d'un α dans le noyau ;
- le nombre de collisions de l'α à la surface du noyau ;
- la probabilité de franchir la barrière de potentiel.

1) Estimer le terme de collision. Calculer ce terme pour un noyau de masse 150<A<250 émetteur d'un α d'énergie moyenne 4MeV<E_α<7MeV. Justifier que l'on puisse approcher ce terme par 10^{21}. On fera les A.N. dans le cas des désintégrations

$$\begin{aligned} {}^{238}_{94}Pu &\rightarrow {}^{234}_{92}U + \alpha + 5,49MeV \\ {}^{238}_{92}U &\rightarrow {}^{234}_{90}Th + \alpha + 4,2MeV \\ {}^{8}_{4}Be &\rightarrow \alpha + \alpha + 0,094MeV \end{aligned}$$

2) Comment peut on modéliser le potentiel que va subir la particule α ? On tachera de représenter ce potentiel.

3) L'α a une énergie E trop basse pour franchir la barrière. Il pourra la franchir par effet tunnel. Dans ce qui suit on va estimer la probabilité de franchissement de la barrière. Écirie l'équation de Schrödinger satisfaite par l'α. Quelle sera la forme des solutions ? Écrire l'équation radiale. On considère la désintégration alpha Bi $\left(\frac{9}{2}^-\right) \rightarrow$ Tl $\left(\frac{1}{2}^+\right)$. Quel sera à priori le moment cinétique de l'α ?

4) Peut-on négliger des termes dans l'équation radiale ? On cherche des solutions BKW. Ce sont des solution de la forme $\phi(r) = \mathrm{e}^{\frac{i}{\hbar}S(r)+T(r)}$ où S et T sont des fonctions paires de $\hbar$. Quelle est l'équation satisfaite par $S(r)$ et $T(r)$? On introduira des paramètres sans dimension judicieux.

5) A quelle condition peut-on négliger les termes d'ordre 2 en $\hbar$ dans S ? Est-ce le cas ici ? Que faire quand les conditions d'applications de BKW ne marchent pas ?

6) Intégrer l'équation simplifiée. Quelle est la forme des solutions selon les régions. On rappelle les formules de raccordement des solution BKW :

$$\begin{aligned} y_1 \simeq \sqrt{l}\,\mathrm{e}^{\int_r^a \frac{\mathrm{d}x}{l}} &\longleftrightarrow y_1 \simeq -\sqrt{\bar\lambda}\sin\left(\int_r^a \frac{\mathrm{d}x}{\bar\lambda} - \frac{\pi}{4}\right) \\ y_2 \simeq \frac{\sqrt{l}}{2}\mathrm{e}^{-\int_r^a \frac{\mathrm{d}x}{l}} &\longleftrightarrow y_2 \simeq \sqrt{\bar\lambda}\cos\left(\int_r^a \frac{\mathrm{d}x}{\bar\lambda} - \frac{\pi}{4}\right) \end{aligned} \tag{0.1}$$

Où la première solution est dans la région classiquement interdite. On interprétera correctement l et $\bar{\lambda}$.

7) Estimer la probabilité de transmission par la barrière. Qu'obtient-on pour une barrière large ?

8) Qu'obtient-on pour la durée de vie τ de la désintégration α ?

9) Calculer les durées de vie de ^{238}Pu et ^{8}Be on supposant que seule la désintégration α intervient. On trouve expérimentalement :

$$\tau\left({}^{8}Be\right) = 2,610^{-17}\text{s} \quad \tau\left({}^{238}Pu\right) = 128 \text{ ans}$$

On rappelle que $\hbar c = 197\text{MeV.fm}$