

I - Astrophysique nucléaire

1 – Questions de cours

- a – Qu'est ce que le facteur astrophysique ?
- b – Expliquer l'effet de l'écrantage électronique sur les taux de réaction nucléaire.

2 – Pic de Gamow

L'expression du pic de Gamow est : $G(E) = \exp[-E/(kT)] \times \exp[-2\pi\eta/\sqrt{E}]$ où η est le paramètre réduit de Sommerfeld et E l'énergie de la réaction $a+X$ dans le centre de masse.

- a - Que représentent les deux termes de l'expression du pic de Gamow ?
- b - Montrez que l'énergie du maximum du pic s'écrit : $E_0 = (k\pi\eta T)^{2/3}$.
- c – Donner l'expression de E_0 en keV en fonction de A_R , Z_a , Z_x et $T_6 = T/(10^6 \text{ K})$, sachant que le paramètre réduit de Sommerfeld est : $\eta = (m_R/2)^{1/2} \times (Z_a Z_x e^2) / (4 \pi \epsilon_0 \hbar)$
N.B. On fera l'approximation $m_R = A_R m_p$, où m_R est la masse réduite, m_p la masse du proton et A_R est le nombre de masse réduite de la réaction. Calculer en unités SI puis convertir le résultat en keV.
- d – Application : A quelle température T_6 , le taux de réaction $\alpha + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{16}\text{O}^*$ est maximal sachant que le premier niveau en énergie accessible du noyau ${}^{16}\text{O}$ est $E_1 = 9630 \text{ keV}$?
N.B. Calculer le Q de la réaction, tracer le diagramme en énergie de la réaction et y reporter E_1 , et E_0 .

On donne :

- $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
- $\hbar = 1.05 \times 10^{-34} \text{ J/s}$
- $m_p = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- $m_{12\text{C}} = 12 \text{ u}$
- $m_\alpha = 4.002603 \text{ u}$
- $m_{16\text{O}} = 15.994915 \text{ u}$
- $1 \text{ u} = 931.4943 \text{ MeV}$

II - Physique des particules

1 – Questions de cours

a – Etablir la liste des fermions élémentaires en précisant leur symbole et leur charge électrique.

b – Donner la liste des bosons de jauge en précisant leur symbole et le nom de l'interaction associée.

c – Pour chaque processus listés ci-dessous, dire s'il est permis ou non par les lois de conservation des nombres quantiques. Justifier votre réponse dans le cas négatif. Dans le cas positif, donner l'interaction responsable du processus.

i) $\tau^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu$

ii) $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$

iii) $\Delta^+ \rightarrow p + \pi^0$

2 – Création de paire électron positron dans une collision $\gamma\gamma$

Soit deux photons d'énergie E_1 et E_2 qui se croisent avec un angle d'incidence θ . Calculer la relation entre les énergies des photons, θ et l'énergie de masse de l'électron pour que la réaction de création de paire électron-positron soit possible ($\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$). Commenter le résultat.

Application numérique : Quelle est l'énergie seuil de cette réaction pour un photon rencontrant un photon du rayonnement diffus cosmologique ($T = 3 \text{ K}$) avec $\theta = \pi/2$?

On donne :

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$m_e c^2 = 511 \text{ keV}$$