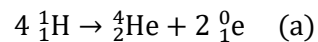


Problème : Réactions de fusion dans les étoiles

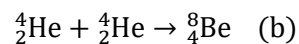
L'objectif de cet exercice est d'étudier les transformations nucléaires qui se produisent dans l'Univers, notamment dans les étoiles, et qui engendrent la synthèse des éléments chimiques.

Sous l'action de la force gravitationnelle, les premiers éléments (hydrogène, hélium...) se rassemblent, formant des nuages gazeux en certains endroits de l'Univers. Le nuage s'effondre ensuite sur lui-même et la température centrale atteint environ 10^7 °C. A cette température démarre la première réaction de fusion de l'hydrogène dont le bilan peut s'écrire :



Une étoile est née.

Seul un dixième de la masse du soleil est constitué d'hydrogène suffisamment chaud pour être le siège de réactions de fusion. D'autres réactions de nucléosynthèse peuvent se produire au cœur d'une étoile. Selon les modèles élaborés par les physiciens, l'accumulation par gravitation des noyaux d'hélium formés entraîne une contraction du cœur de l'étoile et une élévation de sa température. Lorsqu'elle atteint environ 10^8 °C, la fusion de l'hélium commence :



Il se forme ainsi des noyaux de béryllium 8 radioactifs, de très courte durée de vie.

Données : Energie libérée par la réaction de fusion de 4 noyaux d'hydrogène : $E = 4 \times 10^{-12}$ J.

Masse du Soleil à sa naissance : $M_S = 2 \times 10^{30}$ kg

Masse d'un noyau d'hydrogène ${}^1_1\text{H}$: $m = 1,67 \times 10^{-27}$ kg

Demi-vie du béryllium 8 : $t_{1/2} = 7 \times 10^{-17}$ s

1. En considérant que l'essentiel de l'énergie produite vient de la réaction de fusion donnée ci-dessus (a), montrer que l'énergie totale E_{Totale} pouvant être produite par ces réactions de fusion est voisine de 10^{44} J.
2. Des physiciens ont mesuré la quantité d'énergie reçue par la Terre et en ont déduit l'énergie E_S libérée par le soleil en une année : $E_S = 10^{34}$ J.an⁻¹. En déduire la durée Δt nécessaire pour que le Soleil consomme toutes ses réserves d'hydrogène.
3. Soit $N(t)$ le nombre de noyaux de béryllium 8 présents dans l'échantillon à l'instant de date t et N_0 celui à l'instant de date $t_0 = 0$ s.

Calculer le rapport $N(t_1)/N_0$ à l'instant de date $t_1 = 1,4 \times 10^{-16}$ s

Correction

Problème :

1. Lors de la fusion de 4 atomes d'hydrogène pour former un atome d'hélium, il y a libération de la quantité d'énergie $E = 4 \times 10^{-12} \text{ J}$. Il faut donc commencer par calculer le nombre N d'atomes d'hydrogène présents dans le Soleil étudié à sa naissance et ayant une masse d'hydrogène ${}^1_1\text{H}$ égale à $0,1 \times M_S$, chaque atome d'hydrogène ayant une masse : $m = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, la masse d'un atome étant approximée par la masse de son noyau :

$$N = \frac{0,1 \times M_S}{m} = \frac{0,1 \times 2 \times 10^{30}}{1,67 \times 10^{-27}} \approx 1,2 \times 10^{56}$$

Le nombre N' d'atomes d'hélium pouvant être formés par la réaction de fusion est alors le quart de cette valeur soit :

$$N' = \frac{1,2 \times 10^{56}}{4} = 3,0 \times 10^{55}$$

La quantité d'énergie E_{tot} libérée par la fusion de tous les atomes d'hydrogène serait alors :

$$E_{tot} = N' \times E = 3,0 \times 10^{55} \times 4 \times 10^{-12} = 12 \times 10^{43} \approx 10^{44} \text{ J}$$

2. La durée, évaluée en années, nécessaire pour épuiser les réserves d'hydrogène est égal au quotient de l'énergie totale que le Soleil peut libérer par l'énergie qu'il libère en un an, soit :

$$\Delta t = \frac{E_{tot}}{E_S} = \frac{10^{44}}{10^{34}} = 10^{10} \text{ ans} = 10 \text{ milliards d'années}$$

3. La durée $t_1 = 1,4 \times 10^{-16} \text{ s}$ correspond à deux périodes. Le nombre de noyaux présents se trouvera donc divisé par 4. Ainsi :

$$\frac{N(t_1)}{N_0} = \frac{1}{4} = 0,25 = 25 \%$$