Réunion 2003 *Calculatrice interdite*

MÉCANISME DE FUSION DE L'HYDROGÈNE DANS UNE ÉTOILE 4 pts

On se propose de commenter un extrait d'article du dossier hors série de la revue « Pour la science » de janvier 2001.
« ...La phase de **fusion** (ou combustion) de l'hydrogène est la plus longue de la vie des étoiles. Si la masse stellaire est comparable ou inférieure à celle du Soleil, la température centrale est inférieure à une **vingtaine de millions de degrés**. Dans ces conditions, la fusion de **deux noyaux d'hydrogène** (ou protons) produit un **noyau de Deutérium** qui capture un autre proton et forme un **noyau d'Hélium 3** ... Finalement, **deux noyaux d'Hélium 3** fusionnent en un **noyau d'Hélium 4** ...L'ensemble de ces réactions constitue la première des chaînes proton - proton ou chaîne p-p, la plus importante dans le cas du Soleil ...».

NB : les 3 parties de l'exercice sont indépendantes et peuvent donc être traitées indépendamment les unes des autres.

Les valeurs numériques ont été volontairement simplifiées, afin de permettre la réalisation des calculs sans faire usage de la calculatrice.

A - QUELQUES CONSIDÉRATIONS DE VOCABULAIRE

A-1 Donner une définition rapide des mots « fusion nucléaire » et « fission nucléaire ».

A-2 En considérant les charges des noyaux en cause dans le mécanisme de fusion, expliquer pourquoi ces réactions ne peuvent se produire qu'à très haute température ($2{,}1.10^{7}$ °C). On parle alors de fusion thermonucléaire...

B - ÉTUDE DE LA CHAÎNE DE RÉACTIONS

Notations utilisées pour les noyaux concernés :
Hydrogène (ou proton) : ${}_{1}^{1}\mathrm{H}$ (ou ${}_{1}^{1}\mathrm{p}$) Deutérium : ${}_{1}^{2}\mathrm{H}$ Hélium 3 : ${}_{2}^{3}\mathrm{He}$ Hélium 4 : ${}_{2}^{4}\mathrm{He}$

B-1 Écrire la réaction de fusion de deux noyaux d'hydrogène en un noyau de deutérium et une particule que l'on notera sous la forme ${}_{Z}^{A}\mathrm{X}$ .Comment s'appelle cette particule ?

B-2 Écrire la réaction de fusion d'un noyau de deutérium et d'un proton en un noyau d'hélium 3.
Cette fusion s'accompagne de l'émission d'un photon. Comment peut-on interpréter cette émission ?

B-3 Écrire la réaction de fusion de deux noyaux d'hélium 3 en un noyau d'hélium 4. Cette fusion s'accompagne de l'émission de deux autres noyaux identiques. Lesquels ?

B-4 Écrire la réaction bilan des trois réactions de fusion précédentes, qui, à partir de noyaux d'hydrogène, permet d'obtenir un noyau d'hélium 4.

C - CONSIDÉRATIONS ÉNERGÉTIQUES. LE SOLEIL "MAIGRIT-IL" ?

On considère désormais la réaction suivante $4\ {}_{1}^{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2\ {}_{1}^{0}\mathrm{e} + 2\ \gamma$

On donne les masses des noyaux, en unité de masse atomique :
${}^{1}_{1}\mathrm{H}$: 1,0073 u ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$: 4,0026 u ${}_{1}^{0}\mathrm{e}$: 0,0006 u

l u correspond à une énergie de 935 MeV (≈ 1000 MeV)

C-1 Calculer la perte de masse correspondant à cette fusion.

C-2 En déduire une estimation, en MeV, de la valeur de l'énergie libérée par nucléon lors de cette fusion.
On choisira, parmi les estimations suivantes, la réponse correcte :
0,6 MeV 6 MeV 60 MeV

C-3. Le soleil transforme, chaque seconde, 720 millions de tonnes d'hydrogène en hélium 4.
Estimer la perte de masse subie, chaque seconde, par le soleil.
On choisira, parmi les estimations suivantes, la réponse correcte :
4 500 tonnes 45 000 tonnes 450 000 tonnes 4 500 000 tonnes

NB : On pourra remarquer que le rapport 0,0254/4,0292 est très peu différent de 1/160.