



Exercice 1

1. Les premiers éléments présents dans l'univers

Selon le modèle du big-bang, quelques secondes après l'explosion originelle, les seuls éléments chimiques présents étaient l'hydrogène (90%), l'hélium et le lithium, ce dernier en quantité très faible. Les physiciens ont cherché à comprendre d'où provenaient les autres éléments existant dans l'univers.

1.1. Déterminer la composition des noyaux des atomes d'hélium ${}^4_2\text{He}$ et ${}^3_2\text{He}$ ainsi que celle de l'ion hélium ${}^4_2\text{He}^{2+}$

1.2. La synthèse des éléments chimiques plus lourds se fait par des réactions nucléaires.

Pourquoi cette synthèse ne peut-elle pas se faire par des réactions chimiques ?

2. Fusion de l'hydrogène

Sous l'action de la force gravitationnelle les premiers éléments (hydrogène, hélium...) se rassemblent, formant des nuages gazeux en certains endroits de l'univers. Puis le nuage s'effondre sur lui-même et la température centrale atteint environ 10^7 K. À cette température démarre la première réaction de fusion de l'hydrogène dont le bilan peut s'écrire: $4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^0_1\text{e}$. Une étoile est née.

2.1. En notant m_{He} la masse d'un noyau d' "hélium 4", écrire l'expression littérale de l'énergie $|\Delta E|$ libérée lors de cette réaction de fusion des 4 noyaux d'hydrogène. L'application numérique donne une valeur voisine de $|\Delta E| \approx 4 \cdot 10^{-12}$ J

2.2. Cas du Soleil

2.2.1. À sa naissance on peut estimer que le Soleil avait une masse d'environ $M_S = 2 \times 10^{30}$ kg. Seul un dixième de cette masse est constituée d'hydrogène suffisamment chaud pour être le siège de réactions de fusion. On considère que l'essentiel de l'énergie produite vient de la réaction de fusion précédente.

Montrer que l'énergie totale E_T pouvant être produite par ces réactions de fusion est voisine de $E_T \approx 10^{44}$ J.

2.2.2. 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: $E_S \approx 10^{34}$ J.an⁻¹. En déduire la durée Δt nécessaire pour que le Soleil consomme toutes ses réserves d'hydrogène.

Exercice 2

Les « combustibles » utilisés dans le réacteur de fusion ne nécessitent pas de transport de matière radioactive. En effet, le deutérium n'est pas radioactif. Le tritium est fabriqué sur site, à partir d'un

élément Y non radioactif suivant la réaction : $Y + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{H}$

1. Le tritium

Donner la composition et le symbole du noyau Y en précisant les règles de conservation.

On donne un extrait de la classification périodique : H (Z=1), He (Z=2), Li (Z=3), Be (Z=4), B (Z=5).

2. Le noyau de deutérium

2.1. Donner la composition du noyau de deutérium ${}^2_1\text{H}$.

2.2. Le deutérium et le tritium sont des isotopes. Justifier cette affirmation.

2.3. Donner l'expression littérale puis la valeur du défaut de masse $\Delta m({}^2_1\text{H})$ du noyau de deutérium.

2.4. En déduire l'énergie $E({}^2_1\text{H})$ correspondant à ce défaut de masse en J puis en MeV et donner sa signification physique.

3. Étude de la réaction de fusion

On considère la réaction de fusion traduite par l'équation ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$. Donner l'expression littérale de l'énergie libérée par cette réaction en fonction des données de l'énoncé. Calculer cette énergie en MeV.

4. Ressources en deutérium.

On trouve le deutérium en abondance dans l'eau de mer. La ressource dans les océans est estimée à $4,6 \cdot 10^{13}$ tonnes. La réaction (1) libère une énergie de 17,6 MeV.

4.1. On assimile la masse d'un atome de deutérium à la masse de son noyau.

4.1.1. Déterminer le nombre N de noyaux présents dans la masse $m = 1,0$ kg de deutérium.

4.1.2. En déduire l'énergie E libérée par une masse $m = 1,0$ kg de deutérium.

4.2. La consommation annuelle énergétique mondiale actuelle est d'environ $4 \cdot 10^{20}$ J. On fait l'hypothèse simplificatrice selon laquelle le rendement d'une centrale à fusion est équivalent à celui d'une centrale nucléaire. Ceci revient à considérer que seule 33% de l'énergie libérée par la réaction de fusion est réellement convertie en électricité.

Estimer en années, la durée Δt nécessaire pour épuiser la réserve de deutérium disponible dans les océans répondant à la consommation annuelle actuelle.

Les ressources en combustible sont en fait limitées par le lithium, utilisé pour fabriquer le tritium. L'utilisation du lithium contenu dans l'eau de mer ramène les limites à quelques millions d'années.

Données : masse du neutron : $m(\text{n}) = 1,674927 \times 10^{-27}$ kg ; masse du proton : $m(\text{p}) = 1,672622 \times 10^{-27}$ kg ;

$1\text{eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J ; célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8$ m.s⁻¹ ; _masse d'un noyau de deutérium :

$m({}^2_1\text{H}) = 3,344497 \cdot 10^{-27}$ kg ; de tritium : $m({}^3_1\text{H}) = 5,008271 \cdot 10^{-27}$ kg ; d'« hélium 4 » : $m({}^4_2\text{He}) = 6,646483 \cdot 10^{-27}$ kg