

1. Remontons l'écoulement du temps jusqu'à l'instant le plus originel de l'histoire universelle. Au début était la lumière ! Inconsistance du monde contenant une incroyable, une fantastique quantité d'énergie. Tout ce que l'univers compte actuellement de galaxies, d'étoiles, de planètes, d'êtres ou d'objets étaient là en germe sous forme d'énergie immatérielle.

La théorie du Big Bang sans cesse réaffirmée explique que, durant le premier quart d'heure, de ce chaos énergétique très agité sont nées les particules de matière fondamentales : protons, neutrons, électrons...

Après les particules de base, mais bien plus tard, des galaxies prennent forme, puis des étoiles apparaissent dans les galaxies. Par le truchement de la nucléosynthèse, la variété des éléments chimiques voit enfin le jour dans les étoiles...

Ainsi, l'Univers s'est développé transformant son capital initial énergie en capital matière...

1.1. Donner la relation à laquelle il est fait allusion à la fin du texte, entre la masse et l'énergie. Préciser la signification de chaque terme employé dans cette relation ainsi que son unité dans le système international.

$$E = mc^2$$

E = énergie (J) ; m = masse (kg) et
c = célérité de la lumière dans le vide (m.s⁻¹)

2. La température de l'univers qui diminue au cours du temps, va régler durant le premier quart d'heure la création de tel ou tel type de particule... Mais créer une particule implique nécessairement de créer simultanément son antiparticule, toutes deux de masse identique...

A partir de la relation précédente, calculer l'énergie de masse nécessaire à la création de la paire positon-électron (particule-antiparticule) de masse totale **2 m_e**. L'exprimer en J, puis en MeV.

On donne : célérité de la lumière : $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

masse du positon appelé aussi positron = masse de l'électron = $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

l'électron volt : $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$

$$E = 2 m_e \times c^2 = 2 \times 9,11 \times 10^{-31} \times 2,998 \times 10^8 = 1,63 \times 10^{-13} \text{ J soit}$$

$$E = \frac{1,63 \times 10^{-13}}{1,602 \times 10^{-19}} = 1,02 \text{ MeV}$$

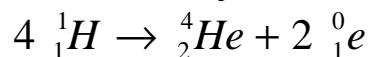
3. Au bout du premier quart d'heure, lorsque la température a chuté jusqu'à 300 millions de degrés environ, les protons et les neutrons, rescapés de l'annihilation matière-antimatière, s'associent en noyaux légers, essentiellement en noyaux d'hydrogène, de deutérium et d'hélium...

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

Z = 1 donc 1 proton.

A - Z = 1 donc 1 neutron

4. 30 millions d'années plus tard, c'est au cœur même des étoiles que la nature va poursuivre son œuvre. Cela commence par la [...] thermonucléaire de l'hydrogène en hélium. Cette transformation occupe l'essentiel de la vie des étoiles et ne nécessite pour ainsi dire, qu'une température de 10 millions de degrés. Son bilan s'écrit :



4.1. Que représente ${}^0_1\text{e}$?

C'est un positon (ou positron)

4.2. Dans la deuxième ligne du texte ci-dessus, le nom de la réaction nucléaire mise en jeu a été effacé. Quel est son nom ?

Réaction de fusion

4.3. a) Calculer en Joules l'énergie libérée lors de cette réaction nucléaire. **Justifiez que ce soit de l'énergie libérée.**

On donne : masse d'un noyau d'hydrogène 1H : $m_H = 1,6726 \times 10^{-27}$ kg
 masse d'un noyau d'hélium 4He : $m_{He} = 6,6447 \times 10^{-27}$ kg
 masse de la particule 0e : $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg

$$\Delta E = E_f - E_i = (m({}^4_2\text{He}) + 2m({}^0_1\text{e}) - 4m({}^1_1\text{H})) c^2$$

$$\Delta E = (6,6447 \times 10^{-27} + 2 \times 9,11 \times 10^{-31} - 4 \times 1,6726 \times 10^{-27}) \times (2,998 \times 10^8)^2$$

$\Delta E = -3,94 \times 10^{-12}$ J. La variation d'énergie pour la matière est négative. Elle perd donc de l'énergie qui est libérée vers l'extérieur. Il y a donc production d'énergie.

4.3. b) Démontrez que la quantité de noyaux d'hélium ${}^4_2\text{He}$ dans 1,0 kg d'hélium est $1,5 \times 10^{26}$.
 Vous utiliserez la masse d'un noyau ($m_{He} = 6,6447 \times 10^{-27}$ kg).

$$\text{nombre de noyaux} = \text{masse de l'échantillon} / \text{masse d'un noyau} = \frac{1}{6,6447 \times 10^{-27}} = 1,5 \times 10^{26} \text{ noyaux}$$

4.3. c) En déduire l'énergie libérée par la formation d'1 kg de noyaux d'hélium.

Une réaction de fusion forme 1 noyau d'Hélium donc l'énergie libérée lors de la formation d'1 kg d'hélium vaut

$$E = \text{nb noyaux formés} \times E \text{ d'une réaction} = 1,5 \times 10^{26} \times 3,94 \times 10^{-12} = 5,9 \times 10^{14} \text{ J}$$

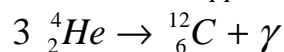
4.3. d) Calculez la quantité de pétrole qui fournirait la même quantité d'énergie.
 Le pouvoir calorifique du pétrole est 42 MJ/kg (la combustion d'1 kg de pétrole libère 42 MJ).

$$\text{masse de pétrole} = \frac{\text{Energie libérée par les réactions}}{\text{Energie libérée par 1 kg de pétrole}} = 5,9 \times 10^{14} / 42 \times 10^6 = 1,4 \times 10^7 \text{ kg}$$

Conclure :

5. Sur la fin de leur existence (stade de dilatation de l'enveloppe extérieure ou géante rouge), une contraction brutale du cœur des étoiles, accompagnée d'une forte élévation de température (jusqu'à 100 millions de degrés) permet la formation d'éléments plus lourds.

Le processus qui conduit au carbone par fusion de l'hélium est appelé triple alpha et son bilan s'écrit :



Qu'est-ce qu'une particule alpha ? Justifier le nom du processus : *triple alpha*.

particule alpha = noyau d'hélium. Triple alpha car 3 noyaux d'hélium sont nécessaires.

6. ...Seules les étoiles de masse supérieure ou égale à trois masses solaires, atteignant des températures plus élevées, ont le privilège de créer des éléments encore plus lourds. A 800 millions de degrés, le carbone fusionne en magnésium ($Z = 12$), à 1 milliard de degrés, l'oxygène ($Z=8$) fusionne en silicium ($Z = 14$) et à 4 milliards de degrés, le silicium fusionne en fer ($Z = 26$) ...

On donne : énergie de liaison d'un noyau de carbone $12\text{}^{12}_6\text{C}$: $E_l = 92,2 \text{ MeV}$

6.1. Définir l'énergie de liaison.

C'est l'énergie qu'il faut fournir au noyau pour séparer ses nucléons, au repos.

6.2. Calculer l'énergie moyenne de liaison par nucléon d'un noyau de carbone 12.

$$\frac{E_l}{A} = 92,2/12 = 7,7 \text{ MeV}$$

Le tableau suivant donne les énergies moyennes de liaison par nucléon de quelques noyaux :

	${}^4_2\text{He}$	${}^{56}_{26}\text{Fe}$	${}^{238}_{92}\text{U}$
$\frac{E_l}{A}$ en MeV/nucléon	7,1	8,8	7,6

6.3. Parmi ces trois noyaux, lequel est le plus stable ? Justifier.

Les noyaux sont d'autant plus stables que leur énergie de liaison par nucléon est forte donc, le plus stable est le noyau de fer ${}^{56}_{26}\text{Fe}$

6.4. En utilisant la courbe d'Aston donnée en annexe, répondre aux questions suivantes :

6.4.1. Comment évolue la stabilité d'un noyau quand son nombre de nucléons augmente ? Distinguer trois domaines sur la courbe d'Aston.

Lorsque A augment, dans un premier temps, $-E_l/A$ diminue donc E_l/A augmente. Les noyaux deviennent plus stable. ($0 < A < 30$)

Puis, $-E_l/A$ reste à peu près constant donc E_l/A reste à peu près constant. La stabilité des noyaux reste quasiment la même.. ($30 < A < 150$)

Enfin, $-E_l/A$ augmente donc E_l/A diminue. Les noyaux deviennent moins stables stable. ($150 < A < 240$)

6.4.2. Quels sont les deux types de réactions nucléaires qui permettent d'accéder au maximum de stabilité ? Dessinez sur la courbe d'Aston ces deux réactions par des flèches.

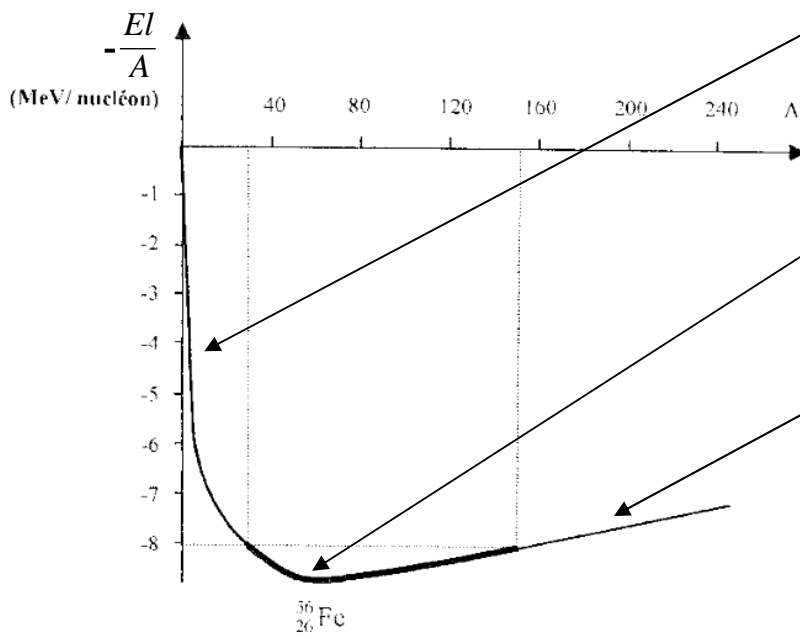
Donnez les définitions de chacune.

Réaction de fusion : deux noyaux de petite dimension en forment un plus gros

Réaction de fission : un noyau de forte dimension est frappé par un neutron. Il se casse en deux noyaux plus petits. Il y a libération d'un ou plusieurs autres neutrons.

6.4.3. Justifier pourquoi la synthèse des éléments chimiques au cœur des étoiles s'arrête à l'élément fer.

L'élément fer est celui pour lequel l'énergie de liaison par nucléon est la plus forte. c'est donc le noyau le plus stable. Il ne se transforme donc pas.



Domaine 1: Quand A augmente, alors $\frac{E}{A}$ augmente. Donc la stabilité des noyaux augmente. Réactions de fusion

Domaine 2: Quand A augmente alors $\frac{E}{A}$ varie peu. Les noyaux sont stables.

Domaine 3: Quand A augmente, alors $\frac{E}{A}$ diminue. Donc la stabilité des noyaux diminue. Réactions de fission