

THEME 2 : Le soleil, notre source d'énergie

Activité 1 : Quelle est l'origine de l'énergie dégagée par le soleil ?

Document 1 : Historique

Les 1^{er} pas dans l'étude théorique des étoiles furent accomplis au début du XX^e siècle par l'Allemand Karl Schwarzschild et le Britannique Arthur Eddington. Schwarzschild appliqua les lois de la physique à une boule de gaz pour arriver à la première description mathématique d'une étoile. Un peu plus tard, Eddington compléta ce travail en considérant des processus négligés par Schwarzschild. Il réussit en particulier à montrer qu'il devait exister une relation entre la masse et la luminosité d'une étoile ordinaire, ce qui fut vérifié plus tard par les observations.

Ces modèles ne pouvaient guère entrer plus dans les détails car il manquait à l'époque une information essentielle : la source d'énergie des étoiles. En effet, pour ne pas s'effondrer sous leur propre poids et continuer à briller, les étoiles avaient besoin d'une grande quantité d'énergie. Mais d'où venait-elle ?

La 1^{ère} hypothèse fut une origine chimique. Peut-être le Soleil brûlait-il simplement comme un tas de bois ? Les calculs montrèrent que cela était impossible. Même en considérant d'excellents combustibles, les estimations théoriques de la durée de vie du Soleil n'arrivaient qu'à quelques milliers ou dizaines de milliers d'années, beaucoup moins que ce qui était requis.

A la fin du XIX^e siècle, une autre possibilité fut avancée par le Britannique Kelvin et l'Allemand Von Helmholtz. Peut-être que le Soleil se contractait peu à peu et convertissait son énergie gravitationnelle en chaleur ? Mais la durée de vie calculée à partir de la contraction Kelvin-Helmholtz n'était que de l'ordre de quelques dizaines de millions d'années, donc toujours trop courte.

La source d'énergie du Soleil resta un mystère jusqu'au début des années 1930, lorsque sa nature fut dévoilée : des réactions nucléaires se produisant au centre de notre étoile.

Les réactions nucléaires dans les étoiles

La matière ordinaire est formée d'entités microscopiques appelées les atomes.

Au centre de chaque atome se trouve un noyau, un ensemble qui regroupe des particules appelées protons et neutrons. Le noyau est très compact, environ 100.000 fois plus petit que l'atome lui-même.

Du fait des très hautes températures qui règnent au centre d'une étoile, toutes les particules sont très agitées. Electrons et noyaux ne peuvent pas s'associer en atomes et la matière est alors ionisée, c'est-à-dire formée d'électrons et de noyaux libres. Les collisions entre noyaux sont très nombreuses et 2 noyaux peuvent parfois se lier l'un à l'autre et fusionner pour donner naissance à un nouveau noyau, c'est ce que l'on appelle une réaction nucléaire de fusion. Dans le Soleil, constitué essentiellement d'hydrogène, le résultat final d'un ensemble de réactions nucléaires est la transformation de 4 protons en 1 noyau d'hélium (constitué de 2 neutrons et de 2 protons). Ces réactions sont confinées dans un milieu de densité très élevée 150 d(eau) et la température atteint 15×10^6 K.

Document 2 : cycles dans le soleil

La transformation d'hydrogène en hélium peut se faire de 2 manières différentes.

La 1^{ère}, proposée par l'astronome Charles Critchfield, s'appelle la chaîne proton-proton, ou PP, et commence avec deux protons qui fusionnent pour former du deutérium, c'est-à-dire un noyau formé d'un proton et d'un neutron.

L'autre manière s'appelle le cycle carbone-azote-oxygène, ou CNO. Elle fut découverte indépendamment par l'Américain Hans Bethe et l'Allemand Carl von Weizsäcker en 1938.

Le cycle commence avec la collision d'un proton avec un noyau de carbone-12, ce qui n'est évidemment possible que si du carbone est présent dans l'étoile.

Le résultat final est le même que pour la chaîne proton-proton, le carbone ne faisant que faciliter les différentes réactions.

Réaction 1 : un proton est capté par un noyau de carbone 12 ;

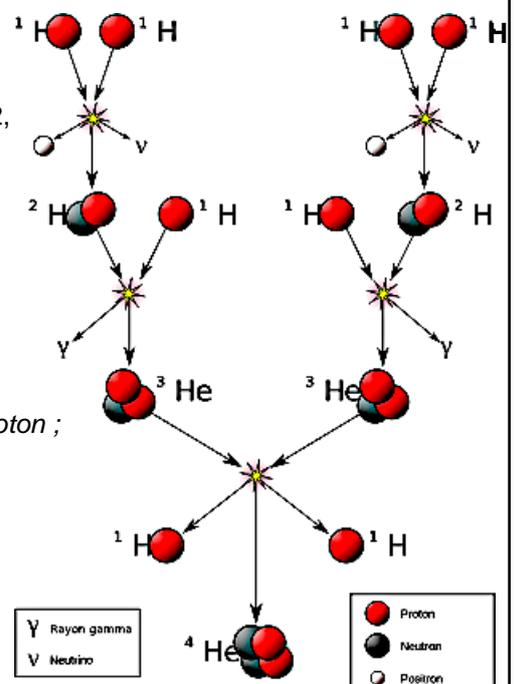
Réaction 2 : le noyau unique formé lors de la réaction 1 est émetteur β^+ ;

Réaction 3 : le noyau unique formé lors de la réaction 2 capte un proton ;

Réaction 4 : le noyau unique formé lors de la réaction 3 capte à son tour un proton ;

Réaction 5 : le noyau formé subit une désintégration β^+ lors de la réaction 4 ;

Réaction 6 : le noyau formé lors de la réaction 5 capte un proton et il apparaît 2 noyaux dont l'un est une particule α .



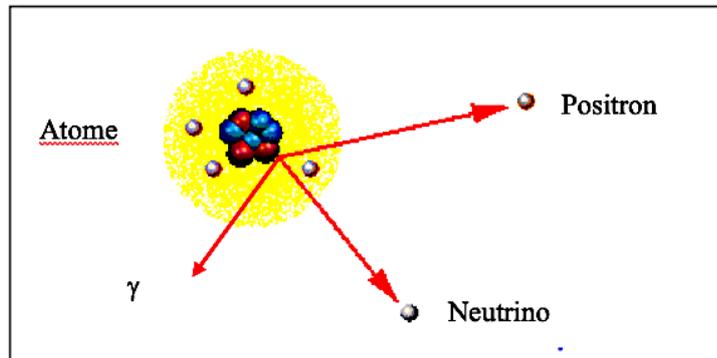
Document 3 : extrait de la classification périodique

${}^1_1\text{H}$							${}^2_2\text{He}$
${}^3_3\text{Li}$	${}^4_4\text{Be}$	${}^5_5\text{B}$	${}^6_6\text{C}$	${}^7_7\text{N}$	${}^8_8\text{O}$	${}^9_9\text{F}$	${}^{10}_{10}\text{Ne}$

Document 4 : symbole de quelques particules

	Noyau d'hydrogène ou Proton	Neutron	Electron	Positron	Neutrino
Symbole	${}^1_1\text{H}$ ou ${}^1_1\text{p}$	${}^1_0\text{n}$	${}^{-1}_0\text{e}$	${}^0_{+1}\text{e}$ ou β^+	${}^0_0\nu$
Antineutrino	Photon ou rayonnement gamma	Noyau d'hélium ou particule alpha	Deutérium	Tritium	
${}^0_0\bar{\nu}$	γ	${}^4_2\text{He}$ ou ${}^4_2\alpha$	${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$	

Document 5 : la radioactivité β^+



Questions :

- 1/ Quelle est la nature de l'énergie dégagée par les étoiles ?
- 2/ Par quel type de réaction cela se produit-il ?
- 3/ a/ Ecrire les équations des différentes réactions impliquées dans la chaîne proton-proton
b/ Vérifier que le bilan est : $4 \text{ }^1_1\text{H} \rightarrow \text{ }^4_2\text{He} + 2 \text{ }^0_1\text{e}^+ + 2 \text{ }^0_0\nu + 2 \text{ }^0_0\gamma$
- 4/ Montrer que l'on retrouve le même bilan avec le cycle CNO.
- 5/ Les physiciens essaient de réaliser la même réaction en la contrôlant.

Maîtriser sur Terre la fusion des noyaux légers à des fins de production d'énergie mettrait à disposition de l'Homme des ressources quasiment illimitées, ce qui pourrait résoudre les problèmes à venir que provoquera la baisse inéluctable des réserves pétrolières. Tel est l'objectif des recherches engagées par les grandes nations industrielles avec le projet ITER, réacteur expérimental de fusion nucléaire.

Suivant la tradition, on appelle deutérium d et tritium t

On donne : $m(\text{d}) = 2,01355 \text{ u}$; $m(\text{t}) = 3,01550 \text{ u}$; $m(\text{ }^4_2\text{He}) = 4,00150 \text{ u}$; $m(\text{n}) = 1,00866 \text{ u}$.

avec 1u (unité de masse atomique) = $1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$ (un douzième de la masse d'un atome de carbone 12)

C'est la réaction la plus facile à déclencher. Elle fait l'objet d'importantes recherches.

L'équation nucléaire en est : ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

- a/ Quelle est la composition des noyaux de deutérium et de tritium ?
- b/ Comment qualifie-t-on de tels noyaux qui possèdent le même nombre de protons ?
- c/ Avant la fusion, le système est constitué d'un noyau de deutérium et d'un noyau de tritium. Après transformation, il est constitué des produits de la réaction nucléaire. Calculer en kg la masse du système avant et après la fusion.
- d/ Que peut-on déduire de la comparaison de ces deux valeurs ? Quelle est la loi suivie en chimie qui n'est pas vérifiée en physique nucléaire ?