

Les éléments des étoiles

1/ Les premières « briques » de la matière se sont formées 10^{-12} s après le Big-Bang à une température de 10^{16} K (Kelvin). Comment s'appellent ces particules ?

10^{-43} s après le Big Bang, la physique actuelle n'est pas capable d'expliquer les événements. Ce temps limite est appelé par les physiciens le temps de Planck. Après ce temps de Planck, la théorie physique permet de donner une évolution de l'Univers. Ces théories sont confortées par les recherches dans les accélérateurs de particules et les analyses du rayonnement dit $3 K$ (Rayonnement du Fond Cosmologique – RFC -). Le RFC a été analysé par les satellites COBE, WMAP et PLANCK.

Les particules formées après le Big Bang sont des quarks et de leptons. Cette soupe primordiale était composée de particules et des antiparticules. Une majorité des physiciens admet qu'il existait alors une asymétrie entre la création des particules et des antiparticules. De l'annihilation initiale entre particules et antiparticules, les particules sortirent victorieuses.

2/ Les hommes sont capables de recréer ces conditions extrêmes dans des machines complexes appelées accélérateurs de particules. Comment s'appelle le dernier accélérateur européen ?

C'est le LHC (Large Hadron Collider). Situé à la frontière franco-suisse, il a été mis en fonctionnement en Septembre 2008. Il est enterré à 100 m de profondeur et est formé un anneau de 26,659 km de diamètre. C'est le plus puissant accélérateur de particules au monde. Les protons (de la famille des hadrons) sont accélérés à des énergies de 7 TeV (Tev : Téra électronVolt).

En novembre 2010, les protons ont été remplacés par des ions de plomb. L'énergie totale de collision fût alors de 1150 TeV !

$1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19}\text{J}$. L'électronVolt est une unité d'énergie utilisée pour les particules et l'infiniment petit. Téra est un préfixe du système international d'unité - coefficient multiplicatif équivalent à 10^{12} - (pour information : kilo – $\times 10^3$, Méga – $\times 10^6$, Giga – $\times 10^9$, Téra $\times 10^{12}$, péta $\times 10^{15}$...)

3/ Le français George Charpak a obtenu le prix Nobel de physique en 1992 pour ses travaux sur les détecteurs de particules. Citer le nom d'un détecteur de particules du CERN (Centre d'Etude sur la Recherche Nucléaire).

Le détecteur Atlas est un détecteur aux dimensions impressionnantes : 46 m de long, 25 m de large et 25 m de haut. Il pèse 7000 tonnes. Il a réussi à détecter une particule prédite par la théorie : le Boson de Higgs. Il détecte aussi les particules Supersymétriques (*Su Sy*) . C'est une symétrie supposée de la physique qui postule une relation profonde entre les particules de spin demi-entier (les fermions) et les particules de spin entier (les bosons). Cela engendre alors des interactions, objets de cette recherche.

Le détecteur Delphi (Detector with Lepton, Photon and Hadron Identification). Ce détecteur étudie les produits de collisions électron-positron.

4/ La « soupe primordiale de particules » se refroidit. Vers 10^{13} K, deux nucléons apparaissent. Quels sont-ils ?

Ce sont les protons (2 quarks up et 1 down) et les neutrons (2 quarks down et 1 up).

Auparavant, la température était telle que ces particules ne pouvaient exister. L'énorme densité qui y régnait engendrait des collisions terribles ne permettant pas la stabilité de ces deux particules. A 10^{13} K, la température permet aux protons et neutrons d'être suffisamment stables pour exister.

5/ Combien de temps après le début de l'expansion de l'Univers (Big Bang) apparaissent les premiers atomes ?

1 à 3s après le Big Bang. *Avant cette période, le milieu était beaucoup trop chaud et dense. Les chocs innombrables ne permettaient pas une stabilité suffisante des atomes.*

6/ Sur le panneau « les emboîtements de la matière ordinaire », se trouvent les différentes briques élémentaires de la matière: donner le nom des 6 quarks découverts.

down, up, strange, charm, beauty, top (bas , haut , étrange, charme, beauté et sommet)

L'existence des quarks up, down et strange est suggérée en 1964 par Gell-Mann et Zweig. Cette même année, un peu plus tard, la théorie prévoit un autre quark : le quark charme.

En 1965, la théorie précise que les quarks d, u et s ne pourront pas être détectés et observés directement.

En 1974, des particules contenant le quark charme sont détectés à l'université de Stanford et de Brookhaven. La présence de ce quark est confirmée en 1976 par la découverte du méson charmé D^0 (composé de deux quarks : c et u).

Le cinquième quark - beauty - est découvert en 1978 au Fermilab.

Le dernier – top - est découvert en 1995 au même endroit.

7/ Quels quarks composent le proton ? Le neutron ?

Proton : 2 quarks up et 1 quark down – Neutron : 2 quarks down et 1 quark up

8/ De quoi sont composés les nucléons formant le noyau de l'atome ?

C'est le physicien anglais Ernest Rutherford en 1911 qui donne l'impulsion sur l'organisation interne des atomes. Il envoie un faisceau de particules alpha (noyau d'hélium) sur une feuille d'or. Ces particules traversaient la feuille d'or sans être déviées, seul un petit nombre d'entre elles était dévié en la traversant ou renvoyé en arrière. Il conclut alors que le noyau concentre toute la masse de l'atome.

En 1919, Rutherford prouve l'existence du proton dans le noyau atomique.

C'est seulement en 1932 que James Chadwick découvre le neutron.

*En conclusion, **le noyau d'un atome est formé de nucléons: les neutrons et les protons***

9/ De quoi est composé un atome?

Un atome est composé d'un noyau et d'électrons.

Dans un atome (électriquement neutre), il y a autant de protons dans le noyau que d'électrons « virevoltants » autour de ce noyau.

Le proton possède une charge élémentaire positive $+e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

L'électron possède une charge élémentaire négative $-e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

La charge électrique du neutron étant nulle 0 C

C : unité de charge électrique – le Coulomb

10/ Il existe quatre grandes forces qui gouvernent l'Univers. Quelles sont ces quatre forces ?

1/ **Interaction forte** : Elle est responsable de la cohésion de tous les hadrons, c'est-à-dire des particules composées de quarks. Indirectement, elle est à l'origine de la cohésion du noyau des atomes. Sa portée est très faible et ne dépasse pas le diamètre d'un atome (de l'ordre de 10^{-15} m).

2/ **Interaction électromagnétique** : Elle est responsable des phénomènes de notre vie courante –

lumière, électricité, magnétisme, chimie Sa portée est en théorie illimitée. Cependant l'action de particules antagonistes (charge + et charge -) tend à neutraliser ses effets. Elle est cent fois moins forte que l'interaction forte.

3/ **Interaction faible** : Elle est responsable de la radioactivité bêta. Elle joue un rôle important dans la fusion nucléaire entre deux noyaux d'atomes, la nucléosynthèse des étoiles. C'est aussi elle qui rend possible la datation par le carbone 14. Son rayon d'action est de courte portée (10^{-18} m).

4/ **Gravitation** : Interaction qui cause l'attraction entre deux corps possédant une masse. Elle s'observe facilement par l'attraction terrestre. Elle est responsable de la révolution des planètes, des marées, de la structure générale de notre Univers.

Elle a une portée infinie mais c'est la plus faible de toutes les interactions citées : 10^{38} fois plus faible que l'interaction forte.

11/ Citer un boson connu et la force qui est associée.

8 gluons sont associés à l'interaction forte. C'est la théorie chromodynamique qui décrit l'interaction forte. La charge électrique d'un gluon est nulle. Sa masse est aussi nulle. Le gluon porte « des charges de couleur » : rouge, vert, bleu, et une anti-charge de couleur correspondante. Normalement $3 \times 3 = 9$. Il devrait donc y avoir 9 gluons correspondant à la combinaison des couleurs et des anti-couleurs. Or la théorie précise que rouge et antirouge + vert et antivert + bleu et antibleu = 0. Il ne peut donc y avoir que 8 bosons.

Le photon est associé à l'interaction électromagnétique. Cette interaction engendre une force attractive ou répulsive entre deux corps ayant une charge électrique. Dans certaines conditions, elle peut « créer » les ondes électromagnétiques parmi lesquelles on distingue la lumière visible, les UV, les IR, les ondes radios...

Interaction faible - 3 bosons vecteur W^+ , W^- , Z^0 . Cette interaction est causée par l'échange entre ces bosons et son effet le plus connu est la radioactivité bêta.

12/ Le nombre de protons sera dénoté par Z, le nombre de neutrons par N et le nombre de nucléons par A. Le nombre de nucléons correspond à la somme du nombre de protons et de neutrons ($A=Z+N$).

Indiquer le nombre de proton et de neutron dans le deutérium, l'hélium 3, l'hélium 4, et le lithium 7.

	Proton	Neutron
Deutérium	1	1
Hélium 3	2	1
Hélium 4	2	2
Lithium 7	3	4

13/ L'hydrogène est l'élément chimique le plus abondant dans l'Univers. Quelle est en pourcentage la masse totale de l'hydrogène dans notre univers visible?

La masse totale des atomes d'hydrogène composant notre Univers est de 76%.

Mais attention, cela représente tout de même 99% du nombre d'atomes de notre Univers !

14/ Rendez-vous à la borne : « Dans la chaleur des étoiles » - **en D sur le plan** - Tout commence par la fusion de deux atomes d'hydrogène. Ils forment alors un nouveau type d'atome. Lequel?

L'atome produit est du deutérium : il est formé d'un proton et d'un neutron.

Compléter cette réaction de fusion nucléaire (e^+ : positron – l'anti-particule de l'électron - , ν : neutrino, γ : rayonnement très énergétique du spectre électromagnétique)



15 / La nucléosynthèse primordiale se poursuit. Quel élément est produit lors de cette fusion ?



L'atome produit est de l'hélium 3 : il est formé de 2 protons et d'un neutron.

16 / Les deux éléments formés précédemment fusionnent de nouveau pour former un nouvel élément. De quoi s'agit-il ?



L'atome produit est de l'hélium 4 : il est formé de 2 protons et de 2 neutrons.

17/ « De cycle en cycle »

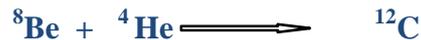
Une étoile comme notre Soleil pourra transformer l'hélium en un autre élément chimique à la température de 6×10^7 K. Lequel ?

L'hélium se transforme en carbone.

La transformation se produit en 2 étapes :

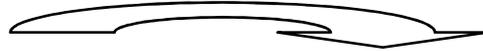


Le béryllium 8 est particulièrement instable et se désintègre rapidement mais parfois il entre en collision avec un noyau d'hélium.



18 / A des températures plus élevées, d'autres éléments sont formés.

se transforme en



Température	Élément initial	Éléments final
7×10^8 K	<i>C</i>	<i>O</i>
2×10^9 K	<i>O</i>	<i>Si</i>
3×10^9 K	<i>Si</i>	<i>Fe</i>

19/ Le fer est un élément très stable. Pourtant des éléments chimiques plus lourds que le fer existent.

A quel moment de la vie des étoiles, les éléments plus lourds que le fer sont-ils produits ?

Les éléments lourds sont produits lors de l'explosion de la supernova.

20/ Citer des éléments formés lors de cette ultime étape ?

Or, Platine

21/ Bilan sur la matière. Compléter le tableau suivant en citant deux éléments pour chaque origine.

Origine	Élément 1	Élément 2
Big Bang (ou peu après)	<i>H, He, Li, Be</i>	
Cœur des étoiles	<i>de B à Fe</i>	
Hors des étoiles (fin de vie des étoiles)	<i>Numéro atomique de 27 à 93</i>	
Synthétisé par l'homme	<i>Numéro atomique > 93</i>	

22/ Un scientifique russe a consacré la majeure partie de sa vie à classer les éléments chimiques dans un tableau: la classification périodique des éléments. Qui est ce chimiste russe ?

Il s'agit de Dimitri Mendeleiev (Mendéléev Dmitrij Ivanovitch) 1834 – 1907

C'est en 1869 qu'il publie une première ébauche de son tableau. Il affirme qu'arrangés selon l'ordre des masses atomiques, les éléments font apparaître une périodicité des propriétés.

23/ A l'aide de la borne interactive « fiche d'identification d'un élément », choisir un des 36 premiers éléments et décrire les caractéristiques suivantes :

Exemple :

Nom de l'élément : **Sodium**

Numéro atomique : **11**

Masse atomique : **23**

Symbole : **Na**

État physique « naturel » : **Solide dans les conditions dites normales**

Température de fusion : **97,8 °C**

Température d'ébullition : **883 °C**

Année de découverte ou durant laquelle il a été isolé : **Découvert en 1807**

Personne ayant identifié ou isolé ou ayant émis l'hypothèse de son existence : **Davy**

Composé dans lequel on trouve cet élément : **la soude, les lampes à vapeur de sodium, le sel de cuisine**

Questionnaire, version corrigée, proposé par Bruno Evrard, enseignant détaché au PLUS

Contact : bruno.evrard@ac-lille.fr

Sur le site du PLUS : www.le-plus.fr

