

LA NUCLÉOSYNTHÈSE PRIMORDIALE

Outre l'expansion de l'Univers et le rayonnement de fond cosmologique, la théorie du Big-bang s'appuie sur un troisième pilier : la nucléosynthèse primordiale.

Cette étape, non accessible par l'observation directe, constitue la clé de la compréhension d'une période cruciale de l'histoire de l'Univers, celle qui a vu apparaître les premiers noyaux d'atomes. On sait aujourd'hui que les atomes, les constituants de toute la matière que nous connaissons, y compris nous-mêmes, sont le fruit de l'évolution de l'Univers. Les plus simples, hydrogène et hélium, ont émergé du Big-bang voici 13,8 milliards d'années. Ils servent de combustible aux réacteurs nucléaires que sont les étoiles qui synthétisent les autres noyaux, plus complexes.

Au tout début de son évolution, l'Univers, extrêmement chaud et dense, était constitué de rayonnement et de particules élémentaires. C'est pourquoi la physique de l'infiniment petit s'y applique admirablement. Dès la première seconde qui suit le Big-bang, la température et la densité ont suffisamment chuté grâce à l'expansion de l'Univers pour que la physique nucléaire prenne le relais : l'Univers est alors un immense réacteur de fusion nucléaire.

Les protons p (noyaux d'hydrogène) et les neutrons n , issus de la soupe primordiale de particules élémentaires, fusionnent pour former une série de noyaux plus complexes. Ce sont :

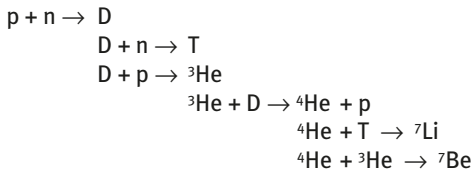
- le deutérium D (hydrogène-2), isotope stable de l'hydrogène, dont le noyau associe un proton et un neutron ;
- le tritium T (hydrogène-3), isotope radioactif de l'hydrogène, dont le noyau associe un proton et deux neutrons ;
- l'hélium-3, ${}^3\text{He}$, deux protons et un neutron ;

Noyau	Hydrogène	Deutérium	Hélium-3	Hélium-4	Lithium-7
Proportion (en nombre)	92 %	10^{-5}	10^{-5}	8 %	10^{-10}

- l'hélium-4, ${}^4\text{He}$, deux protons et deux neutrons ;
- le lithium-7, ${}^7\text{Li}$, trois protons et quatre neutrons.

Seuls ces quelques noyaux ont le temps de se former directement car, en raison de l'expansion de l'Univers, la température ne cesse de chuter. Rapidement, plus aucune réaction nucléaire n'est possible.

La chaîne de réactions nucléaires qui conduit aux premiers noyaux est la suivante :



Dernier de la chaîne, le béryllium-7 est un noyau radioactif qui se désintègre en lithium. En confrontant les mesures des abondances relatives de ces noyaux avec les prédictions théoriques, on estime un paramètre cosmologique clé, à savoir la quantité totale de matière atomique dans l'Univers : environ un atome par mètre cube aujourd'hui. Quand la nucléosynthèse primordiale prend fin, 200 secondes après le Big-bang, les proportions des noyaux dans l'Univers sont figées jusqu'à l'apparition des premières étoiles.

La théorie de la nucléosynthèse du Big-bang, désormais bien maîtrisée et suffisamment robuste, est utilisée aujourd'hui pour ouvrir les voies d'une physique nouvelle en permettant de répondre à certaines questions que se posent les physiciens : les lois physiques sont-elles immuables ? Ont-elles changé au cours de l'évolution de l'Univers ?

Proportions des noyaux

Proportions à la fin de la nucléosynthèse primordiale, 200 secondes après le Big-bang.