

Etapes

Singularité : - 13,8 milliard d'années

« Notre univers décrit par les équations de la relativité générale est en expansion, conformément aux observations. En remontant dans le passé, il devient de plus en plus petit, chaud et dense jusqu'à parvenir à une **singularité**, que l'on appelle Big Bang. Cette singularité correspond à un instant '0', de **taille nulle et de densité infinie**. L'espace mais aussi le temps n'auraient existé qu'à partir de ce point. »

Marc Lachièze-Rey.

Ere de Planck

L'**ère de Planck** désigne la période de l'histoire de l'Univers au cours de laquelle les quatre interactions fondamentales (électromagnétisme, interaction faible, interaction forte et gravitation) étaient unifiées, c'est-à-dire qu'elles s'appliquaient en même temps, ce qui empêche de la décrire à l'aide de la relativité générale ou de la physique quantique, puisque ces théories sont incomplètes et ne sont valables que quand la gravitation et les effets quantiques peuvent être étudiés séparément. La durée de l'ère de Planck est alors de l'ordre de 10^{-43} seconde.

Une théorie plus évoluée permettant d'unifier ces forces est nécessaire, comme pourraient peut-être l'être *la gravité quantique à boucles, la théorie des cordes, la théorie du vide quantique, la cosmologie branaire, la théorie des univers parallèles*, qui sont trop peu abouties pour être en mesure de décrire cette possible phase de l'histoire de l'Univers.

Grande unification

L'**ère de grande unification** est le nom donné à l'époque de l'histoire de l'Univers où l'énergie typique des particules qui existaient alors, était supérieure ou de l'ordre de celles des théories de grande unification*, soit environ 10^{16} GeV** [...]. La physique qui décrirait ces particules n'est pas connue à l'heure actuelle, mais il semble très envisageable que certains événements qui s'y sont produits ont eu une influence importante encore aujourd'hui. En particulier, il est possible que la baryogénèse, la formation d'un excès de matière ordinaire par rapport à l'antimatière, se soit produite à cette époque.

* Une théorie de **grande unification** est un modèle de la physique des particules dans lequel les trois interactions de jauge du modèle standard (électromagnétique, nucléaire faible et nucléaire forte) se fusionnent en une seule à hautes énergies. L'unification de la gravité avec les trois autres interactions (« superforce ») fournirait une « théorie du tout ».

** GeV : giga-électronvolt = 10^9 eV ; 1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ Joule

Ere électrofaible

Cette ère débute après l'ère de grande unification ($\sim 10^{15}$ GeV, soit $\sim 10^{-32}$ seconde après le Big Bang), où l'interaction forte se serait séparée de l'interaction faible. À cette époque, l'énergie potentielle du champ d'inflaton*, ayant causé l'inflation cosmique, est relâchée et laisse l'Univers sous une forme de plasma de quarks et de gluons dense et chaud.

* L'inflaton, également appelé « faux vide » ou « champ scalaire primordial », est la forme d'une matière hypothétique responsable de l'inflation cosmique, cette époque où l'Univers a grandi de façon colossale.

Ere des quarks

L'ère des quarks est la période qui succède à l'ère électrofaible et précède l'ère hadronique. Elle a commencé 10^{-12} seconde après le Big Bang et s'est terminée 10^{-6} seconde après. Pendant ce temps, la température moyenne de l'Univers s'est abaissée d'environ 10^{13} à 10^{11} K. Pendant l'ère des quarks la matière ordinaire est un plasma dense et chaud, constitué, selon le modèle standard de la physique des particules, de quarks, de gluons et de leptons, tous libres (c'est-à-dire non liés).

Ere hadronique

Le plasma de quarks-gluons qui compose l'Univers se refroidit jusqu'à la formation des hadrons, y compris les baryons tels que les protons et les neutrons. Approximativement 1 seconde après le Big Bang, le découplage des neutrinos déclenche leur interminable voyage à travers l'espace, libre de quasiment toute interaction avec la matière existante. L'ère hadronique est une période de l'Univers primordial qui serait située entre l'ère des quarks et l'ère leptonique. Les hadrons se forment à la suite de la baisse de la température de l'Univers sous la barre des 10^{13} degrés.

Annihilation électrons-positrons

[...] La température de l'Univers dépasse 0,5 MeV (cinq milliards de degrés), correspondant à l'énergie de masse des électrons. Au-delà de cette température, interactions entre électrons et photons peuvent spontanément créer des paires d'électron-positrons. Ces paires s'annihilent spontanément mais sont sans cesse recréées tant que la température dépasse le seuil de 0,5 MeV. Dès qu'elle descend en dessous de celui-ci, la quasi-totalité des paires s'annihilent en photons, laissant place au très léger excès d'électrons issus de la baryogénèse.

Nucléosynthèse primordiale

Moins de 380 000 ans après le Big Bang, l'Univers est composé d'un plasma d'électrons et de noyaux atomiques. Quand la température est suffisamment élevée, les noyaux atomiques eux-mêmes ne peuvent exister. On est alors en présence d'un mélange de protons, de neutrons et d'électrons. Dans les conditions qui règnent dans l'Univers primordial, ce n'est que lorsque sa température descend en dessous de 0,1 MeV (soit environ un milliard de degrés) que les nucléons peuvent se combiner pour former des noyaux atomiques. Il n'est cependant pas possible de fabriquer ainsi des noyaux atomiques lourds plus gros que le lithium. Ainsi, **seuls les noyaux d'hydrogène, d'hélium et de lithium** sont produits lors de cette phase qui commence environ une seconde après le Big Bang et qui dure environ trois minutes.

Recombinaison

380 000 ans après le Big Bang, alors que l'Univers est mille fois plus chaud et un milliard de fois plus dense qu'aujourd'hui, les étoiles et les galaxies n'existaient pas encore. Ce moment marque l'époque où l'Univers est devenu suffisamment peu dense pour que la lumière puisse s'y propager, essentiellement grâce au fait que le principal obstacle à sa propagation était la présence d'électrons libres. Lors de son refroidissement, l'Univers voit **les électrons libres se combiner aux noyaux atomiques pour former les atomes**. Cette époque porte pour cette raison le nom de recombinaison. Comme elle correspond aussi au moment où l'Univers a permis la propagation de la lumière, on parle aussi de **découplage entre matière et rayonnement**. La lueur du fond diffus cosmologique a donc pu se propager jusqu'à nous depuis cette époque.

Formation des structures

La formation des structures dans le modèle du Big Bang se déroule de façon hiérarchique, les petites structures se formant avant les plus grandes. Les premières structures à se former sont les quasars, dont on pense qu'il s'agit de galaxies actives primordiales brillantes et d'étoiles de population III.

Les premières étoiles, très probablement de population III, se forment et commencent le processus de transmutation des éléments chimiques les plus légers (hydrogène, hélium et lithium) en éléments plus lourds. Cependant, jusqu'à ce jour, aucune étoile de population III n'a été observée, ce qui maintient le mystère sur leur formation.

** Les étoiles de population III sont une population hypothétique d'étoiles extrêmement massives et lumineuses, constituées exclusivement d'éléments légers (hydrogène et hélium, avec peut-être un peu de lithium), qui seraient les premières étoiles formées au commencement de l'Univers, environ 400 millions d'années après le Big Bang.*

Formation des galaxies

Un grand volume de matière s'effondre et forme une galaxie. Les étoiles de population II, les premières à se former lors de ce processus, sont suivies ultérieurement par des étoiles de population I.

** Les étoiles de population II sont une classe d'étoiles très vieilles, pauvres en métaux. Leur âge varie d'environ 11 à 13,5 milliards d'années. Elles se distinguent des étoiles de population I, plus jeunes et plus riches en métaux, et des étoiles de population III, beaucoup plus anciennes et dont aucune n'a été détectée.*

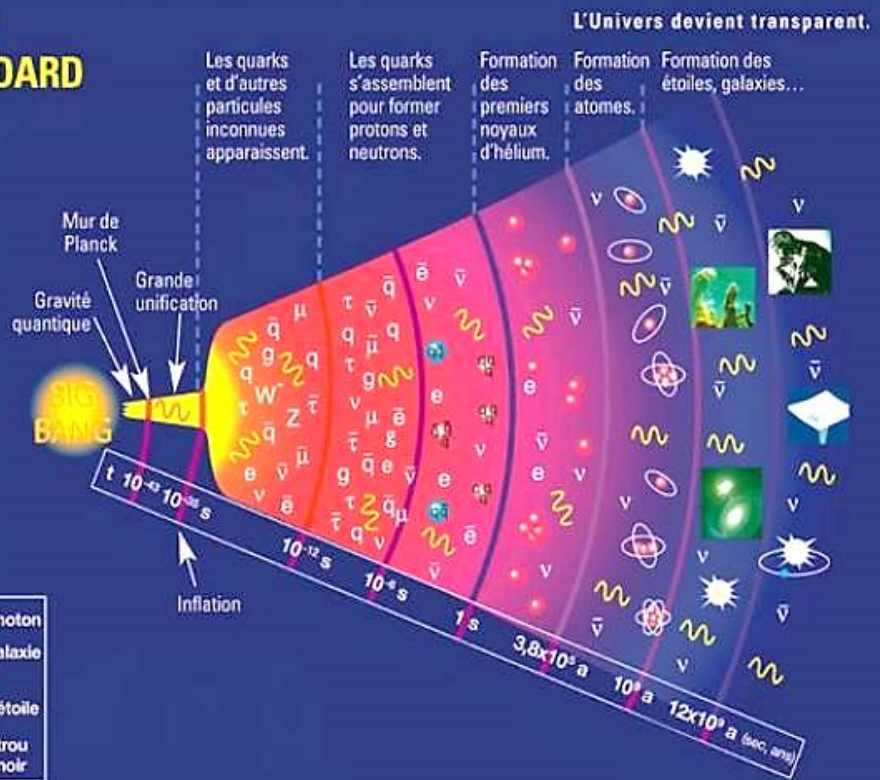
Formation de notre système solaire

Enfin, des objets de la taille de notre système solaire se forment. Notre soleil est une étoile de génération tardive, qui incorpore des débris de nombreuses générations antérieures d'étoiles, et il s'est formé il y a approximativement 5 milliards d'années soit approximativement 8 à 9 milliards d'années après le Big Bang.

L'UNIVERS SELON LE MODÈLE STANDARD

Depuis le Big Bang, l'Univers primordial a franchi de nombreuses étapes durant lesquelles les particules puis les atomes et la lumière ont peu à peu émergé avant qu'étoiles et galaxies ne prennent corps. C'est cette histoire que raconte la théorie du « modèle standard » en vigueur aujourd'hui.

Légendes	W, Z bosons	photon
q quark	meson	galaxie
g gluon	baryons	étoile
e électron	ions	trou noir
μ muon	tau	
ν neutrino	atome	



http://www2.cnrs.fr/sites/journal/image/infog_page_20_350.jpg