

Le modèle standard de la cosmologie

Réunion de réflexions cosmologiques de l'AAA du
30/10/2015

Définition

Le terme de « modèle standard » a émergé aux alentours de l'an 2000.

L'utilisation de ce terme (inspiré de celui qui existe en physique des particules) véhicule l'idée que la cosmologie moderne serait entrée dans une ère dite « de précision », grâce à la disponibilité de quantités importantes de données d'observation auxquelles il est désormais possible de confronter les modèles obtenus par le calcul.

Il fait figure de modèle « de référence » ou « officiel » pour la communauté scientifique ; laquelle reconnaît globalement toutefois son incomplétude et ses zones d'ombre.

Socle théorique et observationnel

Au fondement du modèle standard se trouvent :

- la théorie de la **relativité générale** d'Albert Einstein, ses équations et le modèle d'espace-temps qu'elle décrit.
- L'observation (de plus en plus précise) du **fond diffus cosmologique** (ou rayonnement fossile).
- Les plus récents **catalogues de galaxies** (SDSS, 2dFGRS).

A partir des irrégularités (anisotropies) observées dans le fond diffus cosmologique, les équations de la théorie de la relativité permettent de prédire comment la matière devait se répartir dans l'espace ... ce qui se vérifie par le positionnement observé des galaxies.

Caractéristiques

Le modèle
standard de la
cosmologie

Selon le modèle standard (en 2015), l'univers (observable) est caractérisé par le fait d'être :

- Homogène (à grande échelle).
- Isotrope (à grande échelle).
- En expansion.

L'univers est homogène (à grande échelle)

Le terme technique consacré est « **invariant par translation** ». Les lois de la physique (Newton, Maxwell, Einstein . . .) fonctionnent de la même façon partout dans l'univers.

Ses différentes (grandes) régions présentent des caractéristiques très semblables de température et de densité de matière.

Son apparence générale ne dépend pas de la position de l'observateur (où que l'on se trouve, on voit globalement des étoiles regroupées en galaxies, elles-mêmes regroupées en amas . . .).

Il devient localement inhomogène sous l'effet de la gravité. Notamment, la gravité parvient localement à regrouper suffisamment de matière pour constituer des étoiles dont la température est sensiblement plus élevée que celle de l'espace interstellaire.

L'univers est isotrope (à grande échelle)

Sa structure reste la même quelle que soit la direction dans laquelle on regarde. Il n'existe aucune direction privilégiée par les observations

Par exemple :

- Quelle que soit la direction vers laquelle on regarde, plus on voit loin plus on voit le passé . . . jusqu'à observer le fond diffus cosmologique. Il n'y a pas une direction privilégiée dans laquelle il faudrait regarder pour voir le passé.
- On constate que son expansion s'effectue dans toutes les directions ; et non pas depuis un quelconque « point d'origine ».

L'univers est en expansion

Le modèle
standard de la
cosmologie

L'expansion de l'univers a été prédite par le calcul en 1922 (Alexandre Friedmann) et en 1927 (Georges Lemaître).

Ces prédictions ont été confirmées par l'observation en 1929 (Hubble).

Des observations supplémentaires ont révélé en 1998 que cette expansion, au lieu de se ralentir sous l'effet de la gravité comme on s'y serait attendu, s'accélère. C'est à ce moment qu'on a introduit la notion « d'énergie noire » ou de « poussée du vide » pour équilibrer les équations.

Conséquences déduites

- Si l'univers est en expansion, alors sa taille augmente avec le temps. Réciproquement, elle diminue si on remonte dans le temps.
Il en est déduit qu'en remontant suffisamment loin dans le temps, on aboutit à un univers minuscule, peut être même de taille nulle.
- La théorie de la relativité présentant l'espace et le temps comme une seule et même entité indissociable, s'il existe une origine de l'espace alors il s'agit également d'une origine du temps.
- Notre univers serait donc né d'une **singularité** initiale, que l'on a appelée « **Big Bang** » et qui serait à la fois l'origine de l'espace et du temps (ce qui exclue la question de ce qu'il y aurait pu avoir « avant »).

L'indispensable complément de la théorie de l'inflation

Apports théoriques :

- Solution au problème de l'horizon.
- Solution au problème de la platitude.

Apports vis à vis des observations :

- Explication des anisotropies observées dans le fond diffus cosmologique.
- Conformité avec la répartition spatiale des galaxies cataloguées.
- Explication des effets observés de cisaillement gravitationnel.

Scénario de la constitution de l'univers ... et première limite du modèle

- 1 D'abord, le Big Bang, une **singularité gravitationnelle** survenue il y a 13,82 milliards d'années (t_0).
- 2 Puis une période d'inflation accélérée entre ($t_0 + 10^{-43}$ seconde) et ($t_0 + 10^{-35}$ seconde).
Cette inflation aurait, durant ce court laps de temps, fait augmenter la taille de l'univers d'un facteur de l'ordre de 10^{50} .
- 3 Enfin, une période d'expansion « normale », s'accroissant progressivement. Nous y sommes encore présentement.
- 4 Son devenir est encore trop spéculatif pour être intégré au modèle standard.

Première limite du modèle : l'intervention d'une singularité inexpliquée et mathématiquement inélégante.

Composition de l'univers ... et seconde limite du modèle

Le modèle
standard de la
cosmologie

- 68,3 % d'énergie noire ... de nature inconnue ... mais nécessaire pour équilibrer les équations et expliquer l'accélération de l'expansion.
- 26,8 % de matière noire ... de nature inconnue ... mais nécessaire pour équilibrer les équations et expliquer la dynamique observée dans la rotation des galaxies.
- 4,9 % de baryons (la matière et l'énergie ordinaires).

Seconde limite du modèle : il a été promu comme « standard » du fait qu'il explique de manière satisfaisante ... moins de 5 % de l'univers.