

Chapitre 9 : La théorie du Big Bang

Objectif : Vous initier à la cosmologie, l'étude de la structure globale de l'Univers et de son évolution.

RÉSUMÉ PARTICIPATIF :

Introduction à la quatrième partie (p. 368-369)

Avec le chapitre 9, on commence la quatrième partie du livre, « Un cosmos en évolution ». Pour avoir un aperçu de ce que cette partie vous réserve, il est intéressant de lire le texte de pages 368-369.

Quelle est la grande idée associée à la quatrième partie?

Quelle idée, parmi les plus importantes de l'histoire de la science, a été développée au XIX^e siècle? _____

Quand Einstein a entrepris ses travaux, quelle idée préconçue avait-il concernant l'Univers?

Aujourd'hui, on peut dire que la cosmologie est l'équivalent en astronomie de la théorie de _____ en biologie.

9.1 Un univers fini ou infini?

La théorie _____ appliquée à l'ensemble de l'Univers donne des résultats incohérents, que l'on suppose qu'il soit fini ou infini.

La section en bleu ,pages370-371, n'est pas au programme.

Près d'un siècle et demi après Newton, _____ relance le débat cosmologique à partir d'une observation toute simple :

_____.

Il réalise que cela veut dire qu'il ne peut y avoir des étoiles jusqu'à l'infini, car sinon

_____ et le ciel nocturne serait aussi brillant que

_____. La situation est analogue à celle d'une personne égarée au milieu d'un _____ : si ce dernier est assez grand, chaque ligne de visée frappe _____ et il est impossible de voir au-delà.

Comme l'hypothèse privilégiée à l'époque était celle d'un Univers _____, on appela _____ cette simple observation.

Comment résoudre le problème? On peut supposer que de la _____ nous cache les étoiles trop lointaines, mais d'après le principe de _____, découvert vers _____, cette solution ne fonctionne pas : éventuellement, autant d'énergie serait ré-émise qu'absorbée.

Une meilleure solution : comme la lumière ne se déplace pas _____ et qu'aucun objet ne peut émettre de la lumière _____, les étoiles lointaines sont invisibles parce que la lumière n'a pas encore eu le temps de nous parvenir depuis leur naissance.

En fait, comme les étoiles ne sont pas _____, l'étendue de leur distribution ne change rien au problème : retour à la case départ!

9.2 Einstein et la constante cosmologique

Comme Newton, Einstein entreprend d'appliquer sa théorie à _____. Cela est plus facile que l'on peut croire à prime abord, car aux échelles les plus grandes, on peut considérer l'Univers comme _____.

Les observations récentes le confirment : à une échelle de _____ ou plus, il n'y a pas de différence entre les propriétés globales de deux régions prises au hasard. L'hypothèse que toute région assez grande de l'Univers est représentative de l'ensemble de l'Univers se nomme principe _____.

Einstein découvre que la relativité générale appliquée à l'ensemble de l'Univers implique que sous l'effet de la présence de matière, l'espace devrait être _____. On peut éviter ce phénomène (qu'Einstein trouve aberrant) de deux façons :

1. _____
2. _____

Einstein opte pour la solution no. ____ et introduit dans ses équations une constante cosmologique qui représente _____. Il qualifia plus tard cette décision de la plus grande _____. En effet, si Einstein avait cru en la première version de sa théorie, il aurait pu prévoir théoriquement _____ avant la découverte observationnelle de ce phénomène faite par _____.

9.3 L'expansion de l'espace

Dans la théorie d'Einstein, l'expansion de l'Univers est due au gonflement de l'espace, ce qui peut se visualiser à l'aide de la célèbre analogie du _____. L'espace correspond à _____ et les galaxies sont représentées par _____.

Cette analogie est beaucoup plus conforme à l'expansion de l'Univers décrite par la théorie de la relativité que l'analogie de _____, qu'on rencontre souvent en vulgarisation scientifique. Premièrement, dans une _____, le mouvement des fragments est dû à une libération initiale d'énergie, tandis que dans un pain qui gonfle, l'expansion est un phénomène _____ et _____. Deuxièmement, une _____ possède un centre bien défini et un contour, tandis qu'on peut imaginer un pain _____ dans toutes les directions et qui gonfle de partout à la fois, donc sans centre et sans contour.

Finalement, une _____ implique qu'il y a un mouvement des fragments à travers un espace _____, tandis que dans l'analogie du pain, la matière (les raisins) est immobile par rapport à l'espace (la pâte) et c'est l'espace qui gonfle, conformément à l'explication d'Einstein.

Vrai ou faux? L'expansion de l'espace affecte de manière appréciable la taille des objets qui en font partie. _____

Depuis la formation de la Terre, l'espace a gonflé d'un facteur ____ environ.

L'expansion de l'espace a-t-elle un effet appréciable sur :

- la taille de l'orbite de la Terre? _____
- la taille de l'orbite du Soleil dans la Voie lactée? _____
- les distances entre les amas de galaxies? _____

L'analogie du pain au raisin explique parfaitement la loi de Hubble : plus un raisin est éloigné de nous, plus il y a de centimètres cubes de pâte entre nous et le raisin et plus l'expansion nette est importante. Le rythme de gonflement est partout le même, mais la distance produit un effet _____.

Comme l'expansion est due à la présence de matière dans l'espace, et que la matière était _____

concentrée dans le passé, le taux d'expansion H devait être plus _____ dans le passé. Quand on utilise la loi de Hubble, il faut donc s'assurer que v , H et D soient mesurés _____.

Lorsqu'on observe une galaxie plus rapprochée que quelques _____ d'années-lumière, on peut négliger la variation de H et de la distance D de la galaxie pendant le voyage de la lumière. C'est d'ailleurs comme cela que l'on peut déterminer la valeur actuelle du paramètre de Hubble : $H_A = \text{_____ (km/s)/Mpc}$ (avec une incertitude de $\pm \text{_____ \%}$).

Cette valeur peut être ré-exprimée comme _____ (nm/a)/km : chaque année, l'expansion de l'Univers agissant sur un kilomètre d'espace lui ajoute _____ nm de longueur, soit environ la taille d'un _____.

9.4 Le décalage vers le rouge cosmologique

Le décalage vers le rouge des galaxies n'est pas vraiment un effet Doppler; il est plutôt dû au fait que la lumière que nous recevons des galaxies est _____.

Le rapport entre la taille de l'Univers à un instant donné et sa taille actuelle se nomme _____ (symbole : _____).

Si l'Univers est infini en ce moment, il l'a toujours été car l'infini multiplié par n'importe quelle valeur (sauf _____) donne toujours l'infini.

Imaginons que nous recevons aujourd'hui un photon qui a été émis lorsque $e = 0,25$; pendant son trajet, l'Univers a gonflé d'un facteur _____ et ainsi, son facteur de décalage vers le rouge vaut $\delta = \text{_____}$. La relation entre δ et e est donc : _____.

9.5 Big Bang!

Comme on l'a vu au chapitre 8, la masse volumique actuelle de la matière de l'Univers (visible et invisible) vaut _____ m_p/m^3 . Si on recule dans le temps à l'époque où e valait 0,1, le volume de l'Univers était plus petit par un facteur _____ et la masse volumique de la matière valait _____ m_p/m^3 .

Si on recule davantage dans le temps, on atteint la masse volumique de _____, qui vaut 10^{93} kg/m^3 , à un instant que l'on nomme instant de _____. Pour reculer encore davantage, il faudrait disposer d'une théorie de la _____.

L'instant de _____ est donc le premier instant de l'histoire de l'Univers que l'on peut décrire avec la science actuelle, et les cosmologistes mesurent l'âge de l'Univers à partir de cet instant.

Dans les années 1950, cet instant a été surnommé « _____ » par un astronome qui ne croyait pas en ce scénario, afin de le discréditer et de montrer son manque de sérieux. Ironiquement, l'usage du terme s'est répandu, et aujourd'hui, la théorie selon laquelle l'Univers a commencé par un état initial de haute densité s'appelle théorie _____. C'est un choix malheureux car cela évoque une _____, ce qui n'est pas une analogie très pertinente pour décrire l'évolution de l'Univers, comme on l'a vu plus haut.

Dans les années 1990, une revue américaine d'astronomie a lancé un concours pour trouver un nouveau nom à la théorie. Quel a été le terme gagnant? _____.

Certains vulgarisateurs scientifiques défendent l'hypothèse plus que douteuse qui affirme que l'Univers a existé pendant une fraction de seconde avant l'instant de Planck. Mais il existe une autre façon de voir les choses qui consiste à dire qu'il n'y a tout simplement pas eu d'avant : on peut faire une analogie et dire que chercher à savoir ce qui s'est passé avant l'instant de Planck, c'est comme se demander ce qui se trouve _____. En effet, il est possible qu'une masse volumique plus grande que celle de Planck empêche tout simplement l'espace-temps d'exister. L'origine de l'Univers serait alors un état qui n'est ni de la matière, ni de l'espace, ni du temps, et qu'un physicien a nommé _____. L'instant de Planck serait le premier instant où le temps existe. Cette conception rejoint celle du philosophe chrétien _____ qui affirmait que Dieu avait créé le temps en même temps que l'espace et la matière, et qu'il n'y avait donc pas eu d'avant!

9.6 Le rayonnement de fond cosmologique

En 1965, deux scientifiques travaillant pour _____ ont découvert le rayonnement de fond cosmologique (RFC), un rayonnement constant dans la partie _____ du spectre et dont le spectre est celui d'un corps noir parfait. Or, la production d'un tel spectre nécessite l'interaction de la lumière avec de la matière au moins _____ que ce qui existe aujourd'hui dans l'Univers, ce qui concorde à merveille avec la théorie du Big Bang. La température associée à ce spectre de corps noir vaut (arrondi au degré près) ____ K.

Vrai ou faux? Dans l'Univers actuel, la masse volumique des photons du RFC est du même ordre de grandeur que celle de la matière. ____ Dans un univers en expansion, la température du RFC est _____ au facteur d'échelle. Pour $e = 0,001$, la température du RFC correspond à ____ K, ce qui est la température nécessaire pour _____ les atomes. Comme la matière dans cet état possède une très grande _____, la situation est analogue à ce qui se passe sur Terre lorsque le temps est _____.

Dans le modèle d'Univers le plus récent, $e = 0,001$ se produit _____ ans après le Big Bang. Si on essaie d'observer au-delà des galaxies les plus lointaines, on frappe un _____ correspondant à des régions de l'Univers observées telles qu'elles se présentaient à cette époque.

Dans l'histoire de l'Univers, le moment où les électrons se mettent en orbite autour des noyaux pour la première fois, et où l'opacité chute brusquement, se nomme _____ de la matière et de la lumière. La « photo de bébé » de l'Univers (figure 9.9) qui correspond à ce moment de l'histoire de l'Univers révèle un RFC uniforme à ____ ppm près.

9.7 La nucléosynthèse primordiale

Le scénario théorique de l'évolution de l'Univers dans les premiers jours qui ont suivi le Big Bang révèle que la plus grande partie de _____ qui existe dans l'Univers aujourd'hui a été formée dans un épisode de réactions nucléaires que l'on nomme nucléosynthèse primordiale.

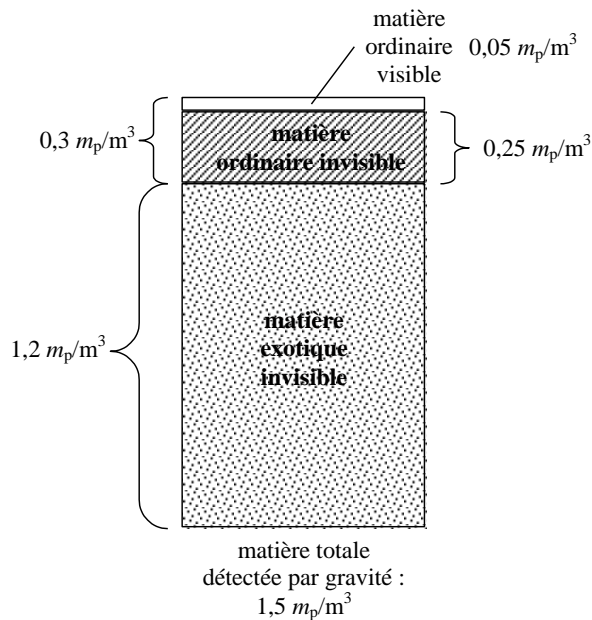
*Les détails de ce processus (étapes 1 à 6) ne sont pas au programme, mais regardez les informations en **caractères gras au début de chaque étape** qui en résumant les éléments les plus pertinents. Le résumé participatif reprend à la sous-section « Nucléosynthèse primordiale et matière invisible » à la page 387.*

Le scénario théorique produit bien la quantité d'hélium 4 observée, soit ____ %. En revanche, la quantité d'autres isotopes légers qui sont produits dans le scénario dépend fortement de la masse volumique de la matière à chaque étape du processus. En particulier, pour reproduire la quantité observée de _____, il faut que la masse volumique de la matière ait une valeur assez bien déterminée, qui correspond à une masse volumique actuelle pour la matière (si on ne tient pas compte de l'incertitude) de ____ m_p/m^3 .

Cela est ____ fois plus grand que la masse volumique de la matière visible, mais ____ fois plus petit que la masse volumique totale de la matière déduite par _____ (matière visible + invisible).

Comme le scénario de nucléosynthèse primordial ne contraint que la masse volumique des particules qui participent aux réactions nucléaires (protons et neutrons), cela signifie que la plus grande partie de la matière invisible doit être constituée de particules qui ont une masse significative mais qui ne sont ni des protons, ni des neutrons : on appelle cela de la matière _____, par contraste avec les protons et les neutrons que l'on appelle matière _____.

Figure synthèse utile (qu'on ne retrouve pas dans le livre!) :



La nature de la matière exotique demeure un mystère, mais certains candidats hypothétiques ont été proposés, comme les WIMPs (_____) et les *quarks* _____.

9.8 L'émergence de la structure

Comme le RFC est uniforme à ___ ppm près et que la matière et la lumière étaient couplés jusqu'au moment de son émission, cela veut dire que la matière _____ ans après le Big Bang était aussi uniforme à ___ ppm près. Or, les images de galaxies lointaines comme le champ profond de Hubble révèlent que les premières galaxies étaient déjà formées _____ après le Big Bang. Comment expliquer qu'en un temps aussi court on soit passé d'un Univers quasi homogène à un Univers qui contient des concentrations de masse assez grandes pour former des galaxies et des étoiles? La gravité tend à augmenter les fluctuations de masse initiales, mais en revanche, la _____ encore assez intense dans le jeune Univers tend à les disperser.

Les scénarios théoriques sont incapables de produire des galaxies sous l'effet de la gravité en si peu de temps... à moins de faire appel à la _____. En supposant que cette dernière n'interagit pas avec la _____, on pourrait supposer qu'elle était déjà passablement agglomérée à l'époque du découplage, et que le champ gravitationnel de ces agglomérations a servi de base pour l'agglomération de la matière ordinaire...

Une fois le résumé complété, vous pouvez tester votre maîtrise de la matière à partir de la liste des termes importants et des questions de révision de la fin du chapitre 9..

*Vous devriez être en mesure de définir tous les termes importants sauf **antiparticule, quark et théorie de l'état stationnaire.***

Vous devriez aussi être en mesure de répondre aux questions de révision suivantes :

- 4, 5, 6, 8, 9, 10, 14, 17, 20, 21, 22, 23, 28, 29, 30, 31, 32**