

S13 Chapitre 10 : Les modèles d'Univers

Objectif : Vous faire connaître les différentes versions de la théorie du Big Bang qui ont été proposées depuis l'époque d'Einstein, et ce qu'elles ont à dire concernant le destin ultime de l'Univers (expansion éternelle ou recontraction).

10.1 Les paramètres des modèles d'Univers (p. 395)

Énumérez les quatre paramètres principaux qui déterminent un modèle d'Univers, et donnez le symbole associé à chacun :

Nom du paramètre	Symbole
1. _____	_____
2. _____	_____
3. _____	_____
4. _____	_____

Pour un physicien, le mot « vide » ne signifie pas « rien du tout », mais plutôt _____ dans l'espace.

Dans l'analogie où un matelas représente le vide, une particule correspond à _____.

La courbure de l'espace est selon une _____ dimension spatiale ; pour la visualiser, il est utile de représenter notre espace habituel à 3 dimensions par une _____ en deux dimensions.

Selon le _____, la courbure globale de l'espace doit être la même partout, ce qui donne 3 possibilités :

- Univers à courbure positive ($C > 0$), dont la courbure est analogue à celle d'une _____ ;
- Univers à courbure nulle ($C = 0$), auquel on donne le nom d'Univers _____ ;
- Univers à courbure négative ($C < 0$), dont la courbure est analogue à celle d'une _____.

Pour quel(s) Univers l'espace est-il infini ?

Si on ajoute les courbures locales produites par les masses de l'Univers à la courbure globale d'un univers à courbure positive, on arrive à quelque chose qui est l'analogue de la peau d'une _____.

Un traitement rigoureux du lien entre les 4 paramètres nécessite des équations de la théorie _____ qui dépassent le niveau du cours.

Les deux paramètres de masse volumique ont pour effet de produire de la _____ qui est portée à _____ l'espace sur lui-même, donc à rendre la courbure davantage _____. L'expansion de l'espace a pour effet de _____ la courbure, donc de la rendre davantage _____. Comme cet effet est proportionnel au carré du paramètre de Hubble décrivant l'expansion, on peut écrire

$$\text{---} = k (\text{---} + \text{---}) - \text{---}^2 \quad (10.1b)$$

où k est une constante qui a pour rôle d'uniformiser _____ des 3 termes de droite.

Une autre relation qui découle de la relativité générale est que l'espace doit être soit en _____ ou en _____, à moins que la masse volumique du vide soit égale _____ de la masse volumique de la matière (équation. 10.2).

Le modèle d'Univers original proposé par Einstein en 1917 donnait une masse volumique au vide et utilisait l'équation 10.2 pour produire un univers statique ($H = \text{---}$). Comme ρ_v et ρ_m ne sont pas nuls dans son modèle, l'équation 10.1b implique que C est _____.

10.2 Les modèles de Friedmann et d'Einstein-de Sitter (p. 399)

Le premier à proposer des modèles d'Univers avec $H \neq 0$ a été un physicien russe nommé _____. Dans ses modèles, un seul des 4 paramètres est égal à 0 : il s'agit de _____.

Dépendant des valeurs relatives de ρ_m et de H , on arrive à deux solutions : l'Univers _____ de _____ (courbure positive) et l'Univers _____ de _____ (courbure négative).

Quelques années plus tard, on découvre que l'Univers est en expansion. Einstein se rend à l'évidence : $H \neq 0$. En collaboration avec de Sitter, il propose un scénario où 2 des 4 paramètres (___ et ___) valent 0 : le modèle d'Univers d'Einstein-de Sitter.

On peut montrer que si un Univers est, à un instant donné, décrit par un des 3 modèles que nous venons de présenter, alors _____.

Lequel des 3 modèles est rapidement devenu le préféré des cosmologistes ? _____

Voici pourquoi :

Décrivez brièvement la raison basée sur la simplicité :

Décrivez brièvement la raison basée sur la « nature unique » de la solution :

Pourquoi ne peut-on pas tout simplement se baser sur les observations pour trancher entre les 3 modèles ? _____

En ce début du XXI^e siècle, lequel des 3 modèles est le préféré des cosmologistes ? _____

Parmi les 3 modèles, le(s)quel(s) se termine(nt) par un Big Crunch ? _____

10.3 L'expansion de l'espace dans l'Univers d'Einstein-de Sitter (p. 402)

Le modèle d'Univers le plus récent, appelé _____, ne correspond à aucun des 3 modèles de la section précédente, car il réintroduit _____. Toutefois, nous allons étudier en détails le modèle d'Einstein-de Sitter, car il reproduit plusieurs caractéristiques du nouveau modèle, et il est beaucoup plus simple mathématiquement.

Dans un Univers d'Einstein-de Sitter pour lequel $H_A = 65$ (km/s)/Mpc, quel est l'âge actuel de l'Univers ? _____

Lorsque l'Univers avait la moitié de la taille actuelle, son âge était-il inférieur ou supérieur à la moitié de l'âge actuel ? _____

Cela illustre le fait que l'expansion était _____ rapide dans le passé qu'aujourd'hui.

À la section 8.6, le calcul effectué pour déterminer la distance d'une galaxie à partir de la loi de Hubble est basé sur 2 suppositions inexactes :

1. le paramètre de Hubble _____
2. le décalage vers le rouge d'une galaxie _____.

En vérité :

1. le paramètre de Hubble varie en fonction du temps.
2. l'expansion de l'Univers résulte de _____, et non _____.

Exemple concret : Si on reçoit aujourd'hui un photon qui a voyagé pendant 9 Ga, la galaxie était à _____ Ga.l. de nous lorsqu'elle a émis le photon (et non à ___ Ga.l.) et elle est aujourd'hui située à _____ Ga.l. de nous !

Les formules suivantes permettent de calculer :
 __ (lettre « d » _____) : la distance de la source au moment de l'émission du photon :

$$d \text{ (Ga.l.)} = 30e(1 - \sqrt{e}) \quad (10.8)$$

et __ (lettre « d » _____) : la distance actuelle de la source au moment où nous recevons le photon :

$$D \text{ (Ga.l.)} = 30(1 - \sqrt{e}) \quad (10.9)$$

Dans ces 2 formules, la valeur de e correspond au facteur d'échelle au moment de _____ du photon. (En effet, si e était le facteur d'échelle au moment de la réception ($e = 1$), les 2 formules donneraient toujours _____ !)

De manière générale, si la lumière que nous recevons aujourd'hui d'un objet a voyagé pendant X années, l'objet était _____ que X années-lumière au moment de l'émission des photons, et il est aujourd'hui _____ que X années-lumière.

Dans un Univers d'Einstein-de Sitter, la différence entre les distances d et D diverge de manière appréciable lorsque $\delta > \underline{\hspace{2cm}}$.

On définit l'Univers observable comme l'ensemble des régions de l'Univers dont les signaux lumineux

_____.

La vitesse finie de la lumière implique que _____ : que l'Univers soit infini ou non, l'Univers observable est limité.

Les photons les plus éloignés que nous recevons aujourd'hui ont été émis par le _____ lors du découplage de la lumière et la matière ($e \approx 0,001$) et se trouvent aujourd'hui à $D = \underline{\hspace{2cm}}$ Ga.l. = R_{uo} observationnel.

Théoriquement, si on pouvait voir à travers le RFC jusqu'à l'instant précis du Big Bang ($e = 0$), on verrait des régions qui se trouvent aujourd'hui à $D = \underline{\hspace{2cm}}$ Ga.l. = R_{uo} théorique.

Dans le modèle d'Einstein-de Sitter, le rayon théorique de l'Univers observable (R_{uo}) dépend de _____ (t) par la relation :

$$R_{uo} \text{ (a.l.)} = 3 t \text{ (a)} \quad (10.10)$$

Donc, à chaque année qui passe, le rayon de l'Univers observable augmente de _____.

L'amélioration graduelle de la technologie des télescopes n'est pas motivée par _____, mais plutôt par le désir d'observer de manière _____ ce qu'on peut déjà voir.

☒ *La section 10.4 n'est pas au programme.*

QUESTIONS DE RÉVISION (p. 428-429)

<input type="checkbox"/>	2	3	4	5	6	7	8	9	<input type="checkbox"/>
11	12	13	14	15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PROBLÈMES (p. 429-430)

P1*	P2*	P3	P4	P5*	P6	P7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-----	-----	----	----	-----	----	----	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Les problèmes avec un astérisque (*) comportent des erreurs dans les réponses. Pour ceux et celles qui n'auraient pas encore corrigé les erreurs mentionnées dans l'errata à la fin de la section S01, revoici les erreurs :

P1* :

- c) $6,95 m_p/m^3$ (et non 7,41)
g) $79,1 (km/s)/Mpc$ (et non $81,7 (nm/a)/km$)

P2* :

- c) $353 m_p/m^3$ (et non 375,8)
g) $564 (km/s)/Mpc$ (et non $582 (nm/a)/km$)

P5* :

- b) $3,16 \times 10^3 Mpc = 3160 Mpc = 10,3 Ga.l.$
(il manque l'exposant 3 dans le livre)