Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 34 (1976)
Heft: 157

Artikel: Le problème cosmologique et ses hypothèses III
Autor: Dubois, Jean
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-899531

ORION

Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Bulletin de la Société Astronomique de Suisse

34. Jahrgang, Seiten 143–186, Nr. 157, Dezember 1976

34e année, pages 143–186, No. 157, Décembre 1976

Le problème cosmologique et ses hypothèses III

par JEAN DUBOIS, Lausanne

Hypothèses de la théorie de HOYLE *et* NARLIKAR

Première partie

Introduction

Avant d'examiner ces hypothèses, il y a lieu de préciser que le Professeur HOYLE est l'auteur, pour autant que je sois bien informé, de deux théories. La première, la théorie dite stationnaire*), est celle dont il est encore actuellement question dans les publications de cosmologie, en général pour dire qu'elle est réfutée par diverses observations. Or, depuis quelques années, les Professeurs HOYLE et NARLIKAR ont élaboré une nouvelle théorie de la gravitation dont il est possible de prendre connaissance dans des textes publiés en 1964[1]) et en 1966[2]) déjà et surtout dans ceux publiés en 1971[3]) et en 1972[4, 5]). Aussi ce sont les hypothèses de cette nouvelle théorie et quelques-unes de leurs conséquences que je me propose d'examiner ici. Certaines d'entre elles sont probablement assez déconcertantes pour le physicien. Aussi je souhaite, par cet article, susciter chez le lecteur un intérêt suffisant pour qu'il étudie cette théorie dans les articles originaux, et cela d'autant plus que les hypothèses n'en sont pas faciles à déceler et que je ne prétends pas y être parvenu parfaitement bien.

Etant donné que je ne connais pas de texte en français relatif à cette théorie, je donnerai une traduction personnelle de certains termes en faisant figurer entre parenthèses le terme original anglais. De plus l'énoncé de quelques-unes des hypothèses, ainsi que certaines remarques et formules, sont extraites des publications [3]) [4]) et [11]) citées en références.

Hypothèse fondamentale

L'espace-temps utilisé est un espace de RIEMANN. Alors la «distance» ou «intervalle» entre deux points voisins est donné par:[7])

$$ds^2 = g_{ij}dx^i dx^j \qquad (25)$$

formule dans laquelle les fonctions g_{ij} caractérisent la géométrie de l'espace-temps.

Considérons une fraction $\Omega\,(x^i)$ à valeurs toujours positives et ne devenant jamais infiniment grande. Multiplions les fonctions g_{ij} par $\Omega^2(x^i)$ et supposons qu'il existe un espace de RIEMANN caractérisé par des fonctions $g_{ij}{}^*$ telles que:

$$g_{ij}{}^* = \Omega^2(x^i)g_{ij} \qquad (26)$$

Alors la fonction $\Omega\,(x^i)$ définit une transformation d'un espace de RIEMANN dans un autre, et on parle de transformation conforme (conformal transformation).

Il est important de ne pas confondre ce type de transformation avec un changement de système de coordonnées. Dans ce dernier cas, la «distance» entre deux points voisins donnés n'est pas modifiée, tandis que dans une transformation conforme la «distance» ds devient ds* avec:

$$ds^* = \Omega\,(x^i)ds \qquad (27)$$

Nous pouvons maintenant énoncer ce qui paraît être l'hypothèse fondamentale de cette théorie, soit: *Les lois de la physique doivent demeurer invariantes lors*

*) Signalons que la théorie stationnaire de BONDI et GOLD est différente de celle de HOYLE[6]).

Titelbild

SONNENAUFGANG IN CHWAKA

Die Teilnehmer der diesjährigen Sonnenfinsternis-Reise der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft nach Ostafrika/Zanzibar konnten am 23. Oktober diesen ungewöhnlichen Sonnenaufgang miterleben. Die bereits teilweise durch den Mond bedeckte Sonne tauchte sichelförmig aus dem indischen Ozean auf. Diese Titelaufnahme verdanken wir Herrn FELIX HUBACHER aus Illiswil. Aufgenommen wurde sie mit einem 500 mm 1:8 Teleobjektiv auf Kodachrome 64 von Chwaka (Zanzibar) aus. Man vergleiche den ausführlichen Reisebericht in dieser ORION-Nummer.

d'une transformation conforme, définie par la fonction Ω, de la géométrie de l'espace-temps.

Ce que l'on peut comprendre de la façon suivante: les équations de la physique doivent conserver la même forme lorsqu'on effectue une transformation conforme.

On peut aussi dire que les différents espaces-temps reliés entre eux par la relation (27) sont équivalents du point de vue de la physique.

Et si nous considérons maintenant le problème cosmologique, nous voyons que dans cette théorie la nature (sphérique, euclidienne, ou hyperbolique) de la géométrie de l'espace-temps dans lequel nous nous trouvons cesse de constituer un problème, et que l'on peut choisir le type de géométrie le mieux adapté à la nature du problème examiné.

Hypothèse no. 2:

Toutes les particules constituants l'univers créent en chaque point de l'espace-temps un champ de masse (mass field) *de nature scalaire et d'intensité variable d'un point à un autre.*

Il ne faut pas confondre ce champ avec le champ gravifique de la théorie de NEWTON.

Hypothèse no. 3:

La masse d'une particule située en un point quelconque de l'espace-temps est proportionnelle au champ de masse existant en ce point.

Il résulte de cette hypothèse que la masse n'est pas une propriété intrinsèque d'une particule, mais est déterminée par la présence de la matière dans tout l'univers.

Ainsi, si l'univers ne contenait qu'une seule particule, sa masse serait nulle.

En fait, cette hypothèse est une expression précise du principe de MACH[7]).

Les hypothèses nos. 2 et 3 entraînent que la masse d'une particule n'est pas constante mais est fonction de sa position dans l'espace-temps.

A ce stade de leurs développements théoriques, HOYLE et NARLIKAR obtiennent une théorie très générale dont le domaine d'application s'étend de la particule élémentaire à la cosmologie[8]). Pour l'orienter vers la cosmologie, ils considèrent le cas où le système physique étudié est constitué par un grand nombre de particules identiques, par exemple un fluide parfait, et ils obtiennent une équation très générale de laquelle on peut déduire celle d'EINSTEIN si la masse des particules est supposée constante.

Dans ce cas l'intensité du champ de masse en un point de l'espace-temps dépend, entre autres choses, de la densité du fluide ou du nombre de particules par unité de volume de l'espace-temps.

Il apparaît alors deux possibilités.

Hypothèse no. 4a:

Le nombre n *de particules par unité de volume varie d'un point à un autre de l'espace-temps.*

Hypothèse no. 4b:

Le nombre n *de particules par unité de volume est constant.*

Dans cette dernière circonstance, les formules qui définissent le champ de masse et la masse d'une particule contiennent des constantes de proportionnalité ou de couplage. Il est fait alors l'hypothèse suivante:

Hypothèse no. 5:

Ces constantes sont des nombres positifs ou négatifs.

Il en résulte que le champ de masse est soit positif, soit négatif.

Afin de concilier cette théorie avec l'observation, les hypothèses précédentes sont complétées par les suivantes:

Hypothèse no. 6:

Les régions de l'univers où le champ de masse conserve un signe constant sont grandes par rapport à la portée des observations astronomiques actuelles.

Hypothèse no. 7:

Le signe de la constante de couplage entre le champ de masse et la masse d'une particule est tel que la masse de la particule est toujours positive, quelle que soit la région de l'univers dans laquelle elle se trouve.

Tout cela signifie que l'univers est constitué de régions ou volumes de l'espace-temps où le champ de masse est tantôt positif, tantôt négatif, ces diverses régions étant séparées les unes des autres par des «surfaces à 3 dimensions» de l'espace-temps où le champ de masse est nul. Et sur une telle surface, la masse d'une particule est nulle.

Remarquons que si l'on n'admet pas l'existence de ces deux types de régions, il faut faire l'hypothèse que la quantité de matière contenue dans l'univers est finie, sinon la masse d'une particule serait infinie (c'est là une remarque propre à l'auteur de cet article).

HOYLE et NARLIKAR ont utilisé leur théorie pour, d'une part examiner ce que deviennent les modèles de FRIEDMANN lors d'une transformation conforme, et de l'autre pour imaginer de nouveaux modèles cosmologiques. Mais avant de les aborder il faut se pencher sur un problème, important dans cette théorie, celui du système d'unités.

Choix d'un système d'unités

Il se trouve que les hypothèses sur lesquelles cette théorie repose imposent un système d'unités un peu déroutant pour le physicien expérimentateur ou l'ingénieur.

Il est évident qu'une grandeur munie d'une dimension est mesurée par rapport à une autre grandeur de même nature (ou étalon) et cela en un même point de l'espace-temps. Le résultat d'une mesure est donc un nombre pur, sans dimension, et lors d'une transformation conforme, ce nombre doit être conservé. Cela n'est possible que si toute grandeur physique munie d'une dimension (y compris l'étalon de référence) est modifiée par la transformation envisagée de sorte que le rapport des deux demeure constant, et cela toujours en un même point de l'espace-temps.

Choisissons par exemple un intervalle ds donné par:

$$ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \quad (28)$$

c est la vitesse de la lumière
x, y, z sont les coordonnées spatiales d'un point
t l'instant de l'observation du point

et utilisons, pour fixer les idées, le système d'unités C.G.S. Alors ds a la dimension d'une longueur. Soit une transformation conforme caractérisée par la fonction $\Omega\,(x^i)$. On a, par la définition de la transformation:

$$ds^* = \Omega\,(x^i)ds \tag{29}$$

Cela signifie que toute grandeur physique ayant la dimension d'une longueur devra être multipliée par $\Omega\,(x^i)$ pour obtenir son image par une transformation conforme. Mais on ne sait comment procéder pour une grandeur physique ayant une autre dimension.

Par contre, si dans les équations de la physique on pose $c = 1$ et sans dimension, et aussi $h = 1$ (constante de PLANCK) et sans dimension, alors toutes les grandeurs de la physique peuvent être mesurées avec une seule unité.

En effet, considérons la relation:

$$E = m_O c^2 \tag{30}$$

m_O: masse d'une particule au repos (par rapport à un système de référence inertial)
E: énergie totale de la particule.

c^2 n'y apparaît que comme une constante de proportionnalité et avec notre choix, masse et énergie ont même valeur numérique et même dimension.

Puis la relation:

$$E = h\nu \tag{31}$$

ν: fréquence de l'onde électromagnétique associée au photon

E: énergie du photon

dans laquelle h est une constante de proportionnalité et avec notre choix, énergie et fréquence sont mesurées par le même nombre et ont même dimension.

En résumé:

Longueur et temps ont même dimension,
énergie et masse ont même dimension,
énergie et fréquence ont même dimension.

Or la fréquence est l'inverse d'un temps. Donc en adoptant comme unité la longueur L, nous voyons que:

La dimension du temps est:	L
La dimension d'une fréquence est:	L^{-1}
La dimension d'une énergie est:	L^{-1}
La dimension d'une masse est:	L^{-1}
La dimension d'une force est:	L^{-2}

Alors, dans toute transformation conforme, une grandeur physique de dimension L^n devra être multipliée par $\Omega^n(x^i)$ afin que le résultat d'une mesure soit conservé.

En particulier, dans le cas de la masse, nous avons:

$$m^* = \Omega^{-1}(x^i)m \tag{32}$$

On constate que si la masse d'une particule est constante lorsque le système physique auquel elle appartient est décrit dans un certain type de géométrie, elle deviendra variable si cette description est effectuée dans une nouvelle géométrie obtenue par transformation conforme de la première.

Transformation conforme de la géométrie des modèles de FRIEDMANN

Pour mieux comprendre les conséquences des hypothèses, examinons brièvement un exemple important de transformation conforme. Parmi tous les modèles relativistes uniformes, ceux de FRIEDMANN ($p = 0$, $\Lambda = 0$) sont le plus souvent considérés car ils sont les plus simples[7]). En effet, pour eux, les équations fondamentales (5) et (6) se simplifient considérablement[9]). La géométrie des espaces-temps des modèles relativistes uniformes est caractérisée par un intervalle ds donné par:[7])

$$ds^2 = dt^2 - \frac{R^2(t)}{c^2}\left[\frac{dr^2 + r^2d\theta^2 + r^2\sin^2\theta d\varphi^2}{(1 + kr^2/4)^2}\right] \tag{33}$$

que l'on appelle parfois: métrique ou élément de ROBERTSON et WALKER.

HOYLE et NARLIKAR ont montré[4]) que l'on peut toujours trouver, pour un modèle de FRIEDMANN, une fonction $\Omega\,(x^i)$, telle que l'image de la métrique de ROBERTSON et WALKER par la transformation conforme considérée soit celle d'un espace-temps de MINKOWSKI, donc:

$$ds^{*2} = d\tau^2 - dr^{*2} - r^2d\theta^2 - r^2\sin^2\theta d\varphi^2 \tag{34}$$

On constate alors que la fonction R(t), et avec elle la singularité ($R[t] = 0$ pour $t = 0$) qui caractérise les modèles de FRIEDMANN a disparu. Donc l'image d'un univers variable de FRIEDMANN est un univers à géométrie indépendante du temps.

Or, selon l'hypothèse fondamentale, les descriptions de l'univers dans la géométrie d'un modèle de FRIEDMANN ou dans celle d'un espace-temps obtenu après une transformation conforme sont physiquement équivalentes. Et, selon ce point de vue, la singularité des modèles de FRIEDMANN n'est plus que la conséquence du choix d'un certain espace-temps plutôt que d'un autre et, par conséquent, n'a pas de signification physique réelle.

Les calculs détaillés de la transformation effectuée sur le modèle d'EINSTEIN-DE SITTER (FRIEDMANN avec $k = 0$) montrent que l'image de ce modèle dans l'espace-temps de MINKOWSKI est un univers statique car, non seulement sa géométrie est invariable au cours du temps, mais encore la densité du fluide matériel est uniforme et constante. C'est donc un univers infini dans le temps (ni origine, ni fin) et dans l'espace. Dans le cas des deux autres modèles de FRIEDMANN ($k = 1$ et $k = -1$), le comportement du fluide est plus compliqué[4]).

Pour effectuer la transformation conforme, il faut introduire une nouvelle variable temps τ, définie par:

$$\tau = \int_{0}^{t} \frac{dt}{R(t)} \qquad (35)^{*)}$$

et alors on trouve que la masse m* d'une particule, après la transformation conforme, est donnée par:

$$m^* = \frac{1}{2}\varepsilon^2 \varrho \tau^2 \qquad (36)$$

ε: constante de proportionnalité entre la masse de la particule et le champ de masse
ϱ: densité du fluide

donc varie proportionnellement au carré du temps.

Il y a toutefois une difficulté liée à la singularité du modèle d'EINSTEIN-DE SITTER. La transformation ne peut pas être efféctuée en $t = 0$, car alors la fonction Ω (t) est infiniment grande. Donc on ne peut transformer que la partie du modèle pour laquelle soit $t > 0$, soit $t < 0$.**) Il leur correspond respectivement un demi espace-temps de MINKOWSKI avec soit $\tau > 0$, soit $\tau < 0$. Mais la différence d'avec les modèles de FRIEDMANN réside dans ce que la jonction de l'un à l'autre se fait sans difficulté en $\tau = 0$. Or en $\tau = 0$, la masse m* d'une particule est nulle. Ainsi à la singularité du modèle d'EINSTEIN-DE SITTER correspond des régions de l'espace-temps de MINKOWSKI où la masse d'une particule est nulle. Selon l'hypothèse no. 3 cela signifie que la particule se trouve sur une surface à 3 dimensions de l'espace-temps où le champ de masse est nul. Et toujours selon les hypothèses de la théorie, une telle surface sépare deux régions où le champ de masse est soit positif, soit négatif. Alors, on peut décider arbitrairement que le demi espace-temps dans lequel nous nous trouvons, caractérisé par $\tau > 0$, est une région où le champ de masse est positif.

Dans les modèles relativistes, il existe une relation entre la luminosité apparente d'une source et son décalage spectral z. HOYLE et NARLIKAR montrent qu'en utilisant la relation (36) et le fait que la luminosité intrinsèque d'une source (énergie émise par unité de temps) est de dimension L^{-2}, on établi avec une grande facilité une relation identique à celle que l'on obtient dans le modèle d'EINSTEIN-DE SITTER. C'est dans ce sens qu'il faut comprendre l'invariance des lois de la physique lors d'une transformation conforme. Ce qui est modifié par contre, c'est l'origine de cette loi. Dans les modèles relativistes, la cause en est l'expansion de l'univers. Dans le modèle de HOYLE et NARLIKAR, la cause en est la variation de la masse d'une particule au cours du temps.

Cela nous permet aussi de mieux comprendre la distinction entre un fait cosmologique de nature physique et un fait pseudo-physique, mais en réalité de nature géométrique. Ainsi la loi citée plus haut est un fait physique. Etablie dans le cadre d'un modèle, on la retrouve dans tous ceux qui s'en déduisent par une transformation conforme. Par contre, la singularité des modèles de FRIEDMANN a disparu après la transformation. C'est donc un fait de nature géométrique, conséquence directe du choix du modèle initial.

Notons, et ce n'est pas une remarque banale, que cela permet de considérer le problème important de l'origine éventuelle de l'univers sous un jour tout à fait nouveau. Beaucoup de cosmologistes considèrent la singularité des modèles de FRIEDMANN non pas comme une étape que l'univers doit franchir au cours de son évolution, mais comme une origine. Ce qui implique que les modèles de FRIEDMANN n'auraient pas de signification physique pour $t < 0$. Ce point de vue, nous l'avons déjà relevé, est extérieur à la théorie de ces modèles[7]).

Mais puisque la singularité disparaît lors de la transformation conforme envisagée ici, il en est de même du concept origine de l'univers[10]).

Il est important de remarquer que ce modèle satisfait aux hypothèses nos. 4b, 5, 6 et 7.

Du point de vue de l'observation ce modèle n'est pas très satisfaisant car la relation (36) entraîne que le sens de propagation des ondes électromagnétiques n'est pas décrit correctement dans ce modèle. Alors, par l'hypothèse fondamentale, cela est aussi vrai dans le modèle d'EINSTEIN-DE SITTER. Et c'est l'une des raisons qui ont conduit HOYLE et NARLIKAR à rechercher de nouveaux modèles.

Références:

1) HOYLE F. et NARLIKAR J. V. Proc. Roy. Soc. London (1964), vol. A 282, p. 191.
2) Les mêmes, Proc. Roy. Soc. London (1966), vol. A 294, p. 138.
3) Les mêmes, Nature, (1971), vol. 233, p. 41.
4) Les mêmes, M.N.R.A.S. (1972), vol. 155, p. 323.
5) HOYLE F., From Stonehenge to modern Cosmology, Freemann, San Francisco, (1972).
6) KILMISTER C. The Nature of the Universe, Thames and Hudson, Londres (1971).
7) DUBOIS J., ORION no. 155, août 1976.
8) HOYLE F. et NARLIKAR J. V., Nature, (1972), vol. 238, p. 86.
9) DUBOIS J., ORION no. 156, octobre 1976.
10) HOYLE F., Quaterly Journal of the Royal Astronomical Society, (1973), vol. 14, p. 278.
11) HOYLE F., Ap. J., (1975), vol. 196, p. 661.

L'ouvrage cité en référence no. 5 est tout à fait remarquable et à la portée de tout lecteur cultivé. Le Prof. HOYLE y expose sa théorie sans faire usage de développements mathématiques, et il y traite aussi d'autres sujets très intéressants.

Adresse de l'auteur:
JEAN DUBOIS, Pierrefleur 42, 1018 Lausanne.

) Lors de la transformation conforme, les variables θ et φ ne sont pas modifiées. Mais la variable t est remplacée par τ et r par r (si $k = 0$, $r^* = r$).

**) La formule (35) montre que $t \gtreqless 0$ entraîne $\tau \gtreqless 0$.