



Théorie Quantique de l'Espace-Temps:

Principes Physiques et Philosophiques

Nilo Sylvio Costa Serpa

GAUGE-F Scientific Researches, Brazil; Faculdades ICESP.

Received: 12 Sept 2017 _____ / Accepted: 20 Oct 2017 _____ / Published: 27 Nov 2017 _____.

Résumé: Cet article présente et discute, d'un point de vue épistémologique, une théorie quantique de l'espace-temps basée sur des principes formés à partir de la mathématique infinie appliquée à la philosophie naturelle, de la cosmologie et de la géométrie riemannienne. Une argumentation prudente montre qu'il n'y a aucune raison logique de supposer que la structure ultime de l'univers est discontinue, à partir du moment où l'on considère un univers en expansion. La relativité générale et la mécanique quantique sont évoquées en discutant des barrières qui entravent aujourd'hui une théorie de grande unification. Une brève explication de la géométrie de Lyra est faite sous l'application des fonctions de singularité dans le contexte de la théorie proposée. De plus, une appréciation de l'état actuel des investigations est faite, montrant le rôle de la théorie en cause dans le scénario de la recherche moderne.

Mots clés : fonction de singularité, géométrie de Lyra, échelle de Planck, géométrie de Riemann, relativité générale, mécanique quantique.

Lettres grecques

χ : fonction de jauge de Lyra

$\Gamma_{\mu\sigma}^{\alpha}$: connexion de Levi-Civita-Christoffel

ϕ_{σ} : champ vectoriel de déplacement

$g_{\mu\sigma}$: tenseur métrique

1. Introduction

Dans cet ouvrage, un effort de réflexion philosophique se manifeste à l'élimination des obstacles qui ralentissent les progrès de la physique moderne, effort qui s'inspire d'ouvrages antérieurs comme ceux de Butterfield et Isham [1].

Après tant d'années de recherche en gravitation, je me retrouve à travailler sur différentes lignes théoriques dans une sorte d'exemption de choix, ne développant que des théories qui portent en elles des promesses d'élucidation. Je ne les vois pas comme des

Corresponding author: Nilo Sylvio Costa Serpa, Ph.D., professor, research fields: quantum gravity, quantum computing, cosmology and thermal systems engineering. E-mail: niloserpa@gmail.com.

théories concurrentes, mais comme des systèmes de représentation qui peuvent être complémentaires dans un certain sens. Dans l'état actuel de connaissance, je ne peux pas affirmer cette complémentarité, mais je crois que ce sera le cas à l'avenir. Je ne souhaite pas ici discuter des modèles de gravitation existants, mais clarifier le modèle principal que je propose pour ce que nous appellerions, faute de meilleure expression, la «gravitation quantique», entendue ici comme une théorie quantique de l'espace-temps. Cette théorie vise à modéliser un seul substratum constituant toute la matière existant sous ses différentes formes. En d'autres termes, la théorie vise à construire un modèle qui permet une compréhension unifiée de ce qui existe au-delà des interactions et des «observateurs». Il ne s'agit donc pas d'une théorie de grande unification, mais d'une théorie phénoménologique générale sur les structures primordiales de l'univers, structures qui imprègnent tout ce qui existe, y compris les particules élémentaires et les quarks.

2. Métaphysique phénoménologique

Un vieux maître m'a dit au lycée: « physique est mathématique plus bon-sens ». C'est, peut-être, une vision simpliste, mais en fait elle semble s'appliquer parfaitement à la question de la définition du quantum spatio-temporel (si cette définition apporte un sens réaliste).

Une autre chose que j'ai apprise est qu'on ne peut jamais abandonner les grands classiques de la littérature scientifique, dans lesquels se trouvent les concepts les plus fondamentaux présentés d'une manière simple et claire. C'est ce qui se passe avec les écrits de Lazare Carnot [2] sur la métaphysique du calcul infinitésimal, dont je me permets ici de retranscrire un premier passage lumineux:

« Il n'est aucune découverte qui ait produit dans les sciences mathématiques une révolution aussi heureuse et aussi prompte

que celle de l'Analyse infinitésimale; aucune n'a fourni des moyens plus simples ni plus efficaces pour pénétrer dans la connaissance des lois de la nature. En décomposant, pour ainsi dire, les corps jusque dans leurs éléments, elle semble en avoir indiqué la structure intérieure et l'organisation; mais, comme tout ce qui est extrême échappe aux sens et à l'imagination, on n'a jamais pu se former qu'une idée imparfaite de ces éléments, espèces d'êtres singuliers, qui tantôt jouent le rôle de véritables quantités, tantôt doivent être traités comme absolument nuls, et semblent, par leurs propriétés équivoques, tenir le milieu entre la grandeur et le zéro, entre l'existence et le néant ».

Notez le lecteur qu'il y a une référence directe à l'étude de la nature des choses. Ce n'est pas une mathématique lâche dans les rêveries abstraites, mais une mathématique appliquée immédiatement à la connaissance du monde des choses extérieures. L'approche mathématique du calcul infinitésimal implique ainsi les idées de mouvement et d'évolution.

En appliquant ce bon-sens dont j'ai parlé auparavant à cette mathématique véritablement physique, il est possible d'imaginer une partie de l'espace-temps qui rétrécit continuellement à une taille aussi petite que l'on veut. Inversement, on peut penser à la même portion en expansion sur une région aussi petite qu'on le veut. Quelle que soit la taille de cette portion, nous pouvons penser qu'elle est encore plus petite à l'infini. Peu importe combien cette partie est agrandie, nous pouvons toujours penser à cela plus petite encore *ad infinitum*. La petitesse de son expansion s'ajoute à un nombre infini d'expansions infiniment petites, de telle sorte qu'une expansion globale observable se produit. Ainsi, ces êtres uniques, les tailles aussi petites que l'on veut, « qui tantôt jouent le rôle de véritables quantités, tantôt doivent être traités comme absolument nuls » apportent dans leur ambiguïté intrinsèque l'essence dynamique du devenir spatio-temporel. Est-ce clair? Pas du tout! Pour moi cela a bien fonctionné, mais nous devons améliorer

notre langage et nos représentations pour arriver à une idée claire pour tous.

3. Le divisible et l'indivisible dans la représentation de l'univers

A ce moment-là, ma théorie de la gravité quantique se sépare de celle préconisée par Rovelli (que j'admire beaucoup) et d'autres, pas de manière contradictoire, mais plutôt sur la façon dont nous comprenons l'essence de l'espace-temps. Pour Rovelli, l'espace ne serait pas continu, c'est-à-dire, divisible en infini, mais composé de minuscules boucles entrelacées les unes avec les autres [4][5][6][7][8]. Pour autant que je sache, la théorie est allée très bien, car elle fournit des indications d'une explication satisfaisante des phénomènes au-delà de l'instant « initial » du univers.

Mais il reste une question qui me semble être à la base de la difficulté de la conciliation entre la mécanique quantique et la relativité générale. Alors que la cosmologie cherche à comprendre la genèse de l'univers, *inter alia*, à partir d'une dynamique d'expansion qui, en principe, n'indique aucun caractère discontinu de l'espace-temps, la mécanique quantique dévoile le caractère discret de la structure microphysique de la matière. À mon avis, cette image discrète est seulement ce qui est capturé à partir des interactions, et Rovelli a raison quand il souligne l'interaction comme concept clé pour la compréhension du monde. Mais quand on parle de la tapisserie ultime de l'univers, du contenu le plus intime de toute matière, ce serait une contradiction philosophique d'établir une matière indivisible, puisque l'indivisible ne consiste pas en parties, et ce qui n'a pas de parties a, théoriquement, la nature d'un point. Mais le point est une pure abstraction mathématique; physiquement, étant donné que la matière est finalement constituée par l'espace-temps lui-même, la manière la plus logique de concevoir la réalité physique est d'imaginer un continuum dynamique (de contraction ou d'expansion),

non le point statique, mais l'infiniment petit en expansion ou en contraction.

Par ailleurs, la notion de frontière du divisible est certainement liée aux limites de l'appréhension expérimentale; déterminer la plus faible valeur détectable d'une quantité ne signifie pas que l'on a atteint la limite de la réalité. Ce serait affirmer un univers anthropique. Il n'y a aucune raison logique pour soutenir cette limitation, bien que l'on puisse restreindre les approches phénoménologiques en maintenant une circonscription plus empirique.

Ainsi, la mécanique quantique — de même que la théorie des champs quantiques et toutes les théories supersymétriques — est une théorie des interactions microphysiques par excellence, et ces interactions passent par le concept primal de force. En relativité générale, il n'y a pas la notion de force, sauf de façon très métaphorique. La « quatrième interaction » est exprimée par des déformations mutuellement provoquées entre les corps massifs dans un continuum d'espace-temps à partir duquel ces corps sont faits; il n'y a pas ce continuum newtonien d'espace-temps qui contient des choses, mais des choses qui sont faites du continuum d'espace-temps. C'est comme si les corps massifs étaient des condensations de ce continuum, ou, si vous préférez, des cloquages dans la tapisserie de l'univers. Les cloquages sont le résultat des infinies expansions et contractions qui se produisent de façon chaotique, chacune se reliant continuellement aux autres. L'effet combiné de ces expansions et contractions s'appelle « gravité ». Par conséquent, le quantum de l'espace-temps est défini par une contraction — ou expansion — de l'espace-temps aussi petit que l'on veut. Ces contractions et expansions forment la dynamique globale de l'univers que nous observons.

4. Les géodésiques de type-temps et l'équation de Friedmann

Bien sûr, nous sommes dans une phase où les expansions sont dominantes à grande échelle. Localement, cependant, nous trouvons ici et là une prédominance des contractions dans les trous noirs et d'autres processus matériels d'effondrement en général. Une théorie quantique de l'espace-temps, par conséquent, doit traiter les incertitudes de l'état des chemins géodésiques aussi petits que vous voulez, ces chemins infinitésimaux étant des expansions ou des contractions de l'espace-temps lui-même.

Les minuscules chemins géodésiques ont été récemment décrites par des fonctions de singularité dans la géométrie de Lyra [9], les quantités infinitésimales étant des différentiels d'intervalles arbitraires de temps et d'espace pris sur les géodésiques. Ces chemins peuvent être type-temps ou type-espace. Il est donc nécessaire de définir une fonction de corrélation basée sur l'incertitude d'état du chemin géodésique (si type-temps ou type-espace). Cela ouvre la porte à l'application de concepts dérivés de la mécanique quantique.

La géométrie de Lyra est une généralisation de la géométrie riemannienne [3], considérée par certains auteurs comme candidat à la modification des modèles cosmologiques contemporains [10]. En introduisant un champ scalaire, c'est-à-dire, une fonction de jauge $\chi(x^\lambda)$, de sorte que la connexion de Levi-Civita-Christoffel est χ -jaugée et ajoutée d'un terme se référant au déplacement vectoriel d'un transport parallèle donné, on obtient la forme générale de la géodésique en géométrie de Lyra, donnée en fonctions de singularité,

$$\chi \frac{d^2 \langle x - \varepsilon \rangle_\alpha}{d\tau^2} + \Gamma_{\mu\sigma}^\alpha \frac{\chi d \langle x - \varepsilon \rangle_\mu}{d\tau} \frac{\chi d \langle x - \varepsilon \rangle_\sigma}{d\tau} = 0;$$

$$\begin{aligned} & \frac{d^2 \langle x - \varepsilon \rangle_\alpha}{d\tau^2} + \left[\chi^{-1} \Gamma_{\mu\sigma}^\alpha - \frac{1}{2} (\delta_\mu^\alpha \phi_\sigma + \delta_\sigma^\alpha \phi_\mu - g_{\mu\sigma} \phi^\alpha) \right] \\ & \times \frac{d \langle x - \varepsilon \rangle_\mu}{d\tau} \chi \frac{d \langle x - \varepsilon \rangle_\sigma}{d\tau} = 0; \\ & \frac{d^2 \langle x - \varepsilon \rangle_\alpha}{d\tau^2} + \Gamma_{\mu\sigma}^\alpha \frac{d \langle x - \varepsilon \rangle_\mu}{d\tau} \frac{d \langle x - \varepsilon \rangle_\sigma}{d\tau} \\ & - \frac{\chi}{2} (\delta_\mu^\alpha \phi_\sigma + \delta_\sigma^\alpha \phi_\mu - g_{\mu\sigma} \phi^\alpha) \frac{d \langle x - \varepsilon \rangle_\mu}{d\tau} \frac{d \langle x - \varepsilon \rangle_\sigma}{d\tau} = 0. \end{aligned} \tag{1}$$

L'espace-temps quantique a été comparé avec la métrique quantique riemannienne afin d'obtenir la fonction de corrélation

$$\langle 0 | g_{\mu\sigma} d \langle x - \varepsilon \rangle_\mu d \langle x - \varepsilon \rangle_\sigma | 0 \rangle = -d \langle x - \varepsilon \rangle_0^2, \tag{2}$$

considérant une géodésique de type temporel. Les différences entre *brackets* se réfèrent à des intervalles arbitraires sur les géodésiques. Le lecteur trouvera une explication détaillée dans la référence [9]. Un aspect important de cette théorie est que le choix du type géodésique dépend du choix de las constantes intervalaires de référence par rapport au domaine de las variables indépendants. Par exemple, en utilisant les propriétés des *brackets*, nous pouvons sélectionner un intervalle purement temporel simplement en rendant les coordonnées spatiales de la géodésique inférieures aux valeurs des constantes intervalaires de référence, qui expriment des trames géodésiques fixes.

De ce qui a été expliqué ci-dessus, l'applicabilité de certaines techniques opératoires stochastiques de la mécanique quantique sur le formalisme de la relativité générale semble rester réalisable. Bien sûr, les autres considérations formelles de la relativité générale sont valables ici. En particulier, adoptant les hypothèses habituelles d'homogénéité et d'isotropie, l'équation de

Friedmann restreinte à la coordonnée temporelle devient

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \langle \rho_{\langle t-\varepsilon \rangle_0} \rangle \left(1 - \frac{\langle \rho_{\langle t-\varepsilon \rangle_0} \rangle}{\rho_{Pl}}\right), \quad (3)$$

où la densité entre *brackets* est une fonction des *brackets* de l'intervalle de temps, et la densité de Planck est

$$\rho_{Pl} \sim 10^{96} \text{ Kg} / \text{m}^3.$$

5. Considérations finales

Comme nous le voyons, si cette argumentation dialectique prévaut, la trajectoire de la quantization de l'espace-temps, et par conséquent de la gravité, se révélera très différent de ce que l'on entend généralement par quantization, bien que certaines techniques fondamentales de la mécanique quantique puissent rester valables.

Pour l'instant, à la lumière des impasses actuelles, je ne vois pas qu'il soit productif d'insister sur une unification complète des deux grandes théories qui ont changé notre vision du cosmos. Nous pouvons penser à une unification partielle des méthodes, mais en gardant toujours à l'esprit les grandes différences architecturales de la relativité générale et de la mécanique quantique. Qui sait devrions-nous être moins prétentieux et plus modestes, en acceptant que certaines limites de la connaissance resteront avec nous pendant longtemps, peut-être pour toujours. Après tout, ce que nous avons sont des bonnes représentations qui fonctionnent très bien, chacune dans son propre domaine.

Cela signifie-t-il que nous devons abandonner le modèle corpusculaire supersymétrique? Pas nécessairement. Les gravitons et les gravitines, s'ils sont confirmés, seraient aussi cloquages de la tapisserie cosmologique et pourraient être utiles comme représentations dans des constructions explicatives

spécifiques. Comme je l'ai dit ailleurs, la question épistémologique qui m'intéresse est de savoir comment parler de supersymétrie en gravité, même s'il n'y a aucune preuve de l'existence de particules comme gravitons et gravitinos. Le moyen le plus efficace que je comprends est d'établir *a priori* que connaître les symétries équivaut à connaître le système. Donc, il est raisonnable de construire les symétries qui doivent régir la gravité, sans tenir compte de sa structure réelle, corpusculaire ou autre quelconque. Ainsi, ce qui importe est la symétrie proposée comme *background* des phénomènes, symétrie qui précède toute matérialisation réel. C'est pourquoi je comprends les théories les plus réussies comme complémentaires, fournissant des explications satisfaisantes dans leurs domaines particuliers.

6. Epilogue

Nous sommes donc arrivés à une position métaphysique bien dans le sens indiqué par Margenau. La méthodologie à laquelle cette métaphysique est résumée nous conduit à une définition dynamique du quantum d'espace-temps. D'une part, nous arrivons à une quantité aussi petite que l'on veut, contractant l'espace-temps à des dimensions arbitrairement infimes; d'autre part, nous arrivons à la même quantité aussi petite que vous voulez, mais maintenant dans une perspective d'expansion arbitrairement minuscule.

Essayons, en guise de conclusion, de tenir ensemble deux vérités :

- 1)- À ce jour, il n'y a pas une théorie unifiée complète qui englobe à la fois la relativité générale et la mécanique quantique; à quel point nous sommes loin d'une telle théorie nous ne savons pas.
- 2)- Le fait est que nous ne savons même pas si cette unification sera possible.

La physique contemporaine progresse lentement. Ceci est largement dû à des contraintes technologiques, mais il y a aussi des contraintes de nature conceptuelle et théorique. Selon mon point de vue, l'une des difficultés que la physique est confrontée se réfère à un manque de ressources linguistiques et formelles clairement physiques, ce qui a conduit la recherche en physique théorique de plus en plus à un simple exercice mathématique. Je ne pense pas que ce soit le droit chemin. Si nous ne gardons pas l'accent sur la représentation, l'accent sera mis sur les mathématiques, et non pas sur la représentation qui est, après tout, l'objet du théoricien. En fait, tout au long de ma vie universitaire, j'ai trouvé des collègues qui ont affirmé ne pas avoir vu beaucoup de physique à l'école d'études supérieures en physique pendant qu'ils travaillaient leurs thèses. Voici un sujet pour lequel une intervention philosophique profonde est nécessaire dans le sens de la recherche d'un équilibre entre langage et représentation.

En bref, à moins qu'une autre théorie soit trouvée, radicalement différente de celles que nous avons maintenant, je ne pense pas que la tâche de l'unification soit possible. Et je me réfère ici précisément aux besoins de renouvellement conceptuel, qui ne peuvent être satisfaits que par la volonté tenace de la philosophie des sciences.

References

- [1] Butterfield, J., and Isham, C. 2000. "Spacetime and the Philosophical Challenge of Quantum Gravity." In *Physics Meets Philosophy at the Planck Scale*, Cambridge University Press
- [2] Carnot, L. 1970 (reprint). *Réflexions sur la Méthaphysique du Calcul Infinitesimal*. Albert Blanchard, Paris.
- [3] Lyra, G. 1951. "Über eine Modifikation der Riemannschen Geometrie." *Mathematische Zeitschrift* 54 (1): 52-64.
- [4] Rovelli, C. 2006. *The Disappearance of Space and Time, the Ontology of Spacetime, Philosophy of*

- Physics*. D. Dieks, (Ed.) Elsevier Science Publishing Co 25.
- [5] Rovelli, C. 2007. *Quantum Gravity, Philosophy of Physics*. J. Butterfield and J. Earman, (Ed.) Elsevier Science Publishing Co 1287.
- [6] Rovelli, C. 2007. "Beyond the Screen of Time." *Nature Physics* 3.
- [7] Rovelli, C. 2011. "Zakopane Lectures on Loop Gravity." arXiv: 1102.3660.
- [8] Rovelli, C. 2012. *Et si Le Temps n'Existait Pas? Un Peu de Science Subversive*. Dunod, Paris.
- [9] Serpa, N., 2016. "A New Approach on Quantum Gravity in Lyra Geometry." *Journal of Physical Science and Application* 6: 1-7.
- [10] Shchigolev, V. 2013. "On Exact Cosmological Models of a Scalar Field in Lyra Geometry." *Universal Journal of Physics and Application* 1(4): 408-413.