

keley, a proposé une interprétation du principe holographique qui permet de l'étendre à un grand nombre de situations. Imaginez une surface concave, comme la face interne d'une sphère, tapissée d'une infinité de flashes. Ceux-ci se déclenchent tous en même temps, formant un front d'onde lumineux qui se propage vers le centre. C'est sur cette surface à deux dimensions, la « feuille de lumière », que toute l'information concernant les objets situés à l'intérieur de la sphère et rencontrés par le front d'onde est stockée (voir l'encadré page ci-contre).

L'espace-temps est un sous-produit des quanta d'information

Cette feuille de lumière, d'après le principe holographique, contient l'information sur la position des particules et des forces s'exerçant sur elles à l'intérieur de la sphère. Mais il ne s'agit pas d'une simple pellicule qui enregistre ce qui se passe dans la région tridimensionnelle d'univers. Au contraire, la feuille de lumière vient en premier. Elle projette sur le monde l'information contenue à sa surface, faisant apparaître tout l'univers tridimensionnel que nous voyons. L'espace-temps, ainsi que la matière et les forces qui s'exercent sur elle, est un sous-produit de la surface holographique encodant des bits d'information.

Ainsi, le principe holographique laisse entrevoir une connexion profonde entre l'information, l'espace-temps, la matière et la gravité. Il pourrait en ce sens révéler la direction à suivre pour développer la théorie quantique complète de la gravitation, qui engloberait la relativité et la physique quantique.

Même si le principe holographique est correct, des questions subsistent. Sous quelle forme l'information est-elle codée ? Comment est-elle traitée pour faire émerger l'Univers que nous observons ? Pour certains physiciens, l'Univers est un ordinateur qui traite l'information pour faire apparaître ce que nous percevons comme la réalité physique. Mais cet ordinateur est pour le moment une boîte noire.

C. Hogan ne cherche pas à résoudre ces questions complexes. Il propose seulement de déterminer si, au niveau fondamental, l'espace se décompose en unités d'information. Dans la plupart des inter-

prétations, l'espace-temps qui émerge de la description holographique de l'Univers est intrinsèquement quantique, c'est-à-dire qu'il est discret et fluctuant.

Plus précisément, dans cet espace-temps quantique émergent, la position d'un objet n'est pas précisément définie. Il ne s'agit pas d'une incertitude quantique usuelle, selon laquelle on ne peut connaître simultanément la position et la vitesse exactes d'une particule, mais d'une incertitude intrinsèque : la notion classique de point, avec des coordonnées bien définies, n'a pas de sens.

À la place, en se fondant sur la « géométrie non commutative » du mathématicien français Alain Connes, C. Hogan a proposé un nouveau concept de position. Selon cette idée, la position d'un objet est mesurée par des opérateurs qui ne commutent pas ; en d'autres termes, une mesure de la position selon une direction x , puis selon une direction y , donne un résultat différent d'une mesure effectuée selon la direction y , puis selon la direction x . Il existerait ainsi une incertitude fondamentale, de nature géométrique, sur les positions dans l'espace-temps qui émerge de la description holographique du monde.

Ainsi, à l'échelle de Planck, l'espace-temps est agité d'un sautilllement permanent, la position précise d'un objet fluctuant sans cesse. L'Univers n'est pas similaire à l'éther classique, transparent, cristallin : sa texture est mouvante.

Mais comment descendre au niveau de cette texture et la mettre en évidence ? L'échelle de Planck est si petite que l'atteindre dans un accélérateur de particules – en concentrant une énergie colossale dans un volume infinitésimal – est tout simplement impossible à l'échelle terrestre. L'holomètre de C. Hogan a pour objectif d'attaquer par le flanc la longueur de Planck.

L'interféromètre de Michelson et Morley tentait de mesurer une minuscule variation de la vitesse de la lumière due au mouvement de la Terre autour du Soleil en comparant deux faisceaux lumineux ayant parcouru une distance raisonnablement grande. En effet, le retard dû à une hypothétique variation de la vitesse de propagation se cumule avec la distance et devient mesurable.

Il en est de même avec l'incertitude quantique sur la position proposée par C. Hogan. Elle induit une erreur à l'échelle



UNE COLLECTION D'ENTRETIENS AUDIO ORIGINAUX À TÉLÉCHARGER



EINSTEIN ET LES RÉVOLUTIONS QUANTIQUES

Le développement de la physique quantique au début du XXe siècle se prolonge de nos jours avec une deuxième révolution qui repose sur le concept étrange d'intrication.

Alain Aspect, Professeur à l'Institut d'Optique et membre de l'Académie des sciences

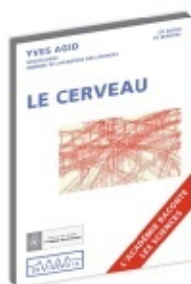
MP3 - 75 minutes **9,90€**

EINSTEIN ET LES RÉVOLUTIONS QUANTIQUES

Le développement de la physique quantique au début du XXe siècle se prolonge de nos jours avec une deuxième révolution qui repose sur le concept étrange d'intrication.

Alain Aspect, Professeur à l'Institut d'Optique et membre de l'Académie des sciences

MP3 - 75 minutes **9,90€**



LE CERVEAU

Une exploration détaillée et fascinante de l'organe le plus complexe du corps humain par un des plus grands neurologues français.

Yves Agé, Neurologue, membre de l'Académie des sciences

MP3 - 57 minutes **9,90€**

LE CERVEAU

Une exploration détaillée et fascinante de l'organe le plus complexe du corps humain par un des plus grands neurologues français.

Yves Agé, Neurologue, membre de l'Académie des sciences

MP3 - 57 minutes **9,90€**

TÉLÉCHARGEZ LES NOUVEAUTÉS DE LA FABRIQUE SCIENCES SUR DEVIVEVOIX.FR

SCIENCES & MUSIQUES D'AVANT-GARDE



QUADRIVIAM

RADIO

Découvrez le programme de podcasts de la webradio Quadrivium en partenariat avec le magazine Pour la Science. Pénétrez dans les plus grands laboratoires pour écouter la parole des chercheurs.

Biologie

Nicolas Gompel

Institut de biologie du développement de Marseille Luminy

L'expression des gènes dans le cadre de l'évolution

Physique

Stéphane Mazouffre

Laboratoire Icar à Orléans

Au cœur d'un propulseur à plasma

Physique

Simone Speziale

Centre de physique théorique de Luminy

Gravité quantique

Biologie

Jonathan Ewbank

Centre d'immunologie de Marseille-Luminy

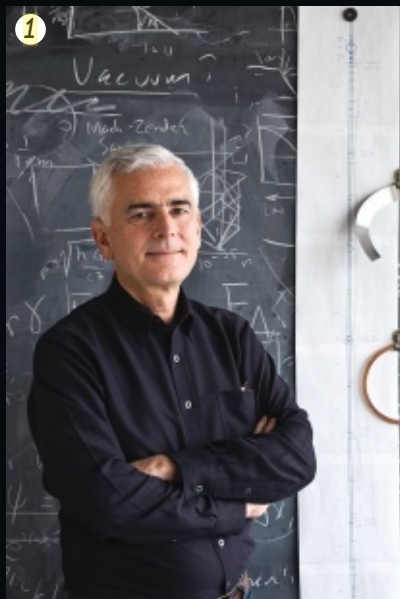
Immunologie

www.quadriviumradio.com

© Pour la Science - n° 416 - Juin 2012

Physique [29]

1



CRAIG HOGAN (1), directeur du Centre d'astrophysique des particules du Fermilab, dans son bureau. L'holomètre est en construction à un kilomètre de là. Les bras des deux interféromètres, où voyageront les faisceaux laser, sont des tubes de 40 mètres de long où régnera un vide poussé (2). Une première paire de bras est abritée dans un bunker autrefois utilisé pour des faisceaux de particules ; l'autre paire part vers l'extérieur, avec à son extrémité une remise où se trouvent des miroirs et l'optique nécessaire à la focalisation (3). Un équipement optique de précision est utilisé pour focaliser et aligner les faisceaux (4).

2



3



4



de Planck sur la position dans la direction transverse au trajet d'un rayon lumineux. Cette erreur se cumule le long du trajet sur des distances macroscopiques. Si elle ne change rien à la propagation de la lumière dans le vide, elle se manifeste là où la lumière interagit avec la matière. L'effet apparaît alors comme une sorte de déplacement perpendiculaire à la direction de propagation par rapport à la position classique, avec une échelle de temps et une amplitude qui dépendent de la taille du système.

C. Hogan a calculé que le signal résultant de cette incertitude sur l'espace-temps, ou bruit holographique, doit avoir une amplitude de l'ordre de l'attomètre (10^{-18} mètre) sur une échelle de temps de quelques dizaines de microsecondes. C'est très petit, mais en principe détectable par les interféromètres les plus précis.

Les tressautements de l'espace-temps à la loupe

L'holomètre est ainsi construit sur un principe similaire à celui de l'expérience de Michelson et Morley, à ceci près que ces derniers ne disposaient pas de lasers et d'électronique de précision. Un faisceau laser est envoyé sur un séparateur de faisceau qui divise la lumière en deux et envoie chaque demi-faisceau le long de deux bras de 40 mètres de long disposés perpendiculairement. Chaque faisceau est réfléchi par un miroir à l'extrémité du bras correspondant, revient au séparateur et se recombine avec le faisceau ayant parcouru l'autre bras. Mais au lieu de mesurer les variations de temps de trajet dues au mouvement de la Terre, le dispositif mesure les éventuelles variations de longueur de la trajectoire des faisceaux, dues aux petits décalages sur les positions, décalages eux-mêmes imputables à la trame quantique de l'espace-temps.

Plus précisément, on montre que le bruit holographique entraîne de petites incertitudes sur la position du séparateur de faisceau (mais pas sur les miroirs terminaux des bras). Pendant le temps qu'il faut à la lumière pour effectuer un aller-retour dans les bras, le séparateur de faisceau subit de petites variations de sa position, de sorte que le trajet des faisceaux réfléchis est légèrement allongé ou raccourci, d'où un déphasage et une

Cependant, de nombreux facteurs, tels le vrombissement d'un moteur non loin du bâtiment ou un vent fort qui secoue ce dernier, peuvent entraîner un déplacement du séparateur de faisceau. Comment être sûr que le bruit mesuré est bien la manifestation de la trame discrète de l'espace-temps ?

Heureusement pour C. Hogan, les déplacements qu'il cherche à mettre en évidence sont beaucoup plus rapides : l'espace est supposé tressaillir à une fréquence caractéristique de l'ordre du mégahertz. Dès lors, les seules sources d'interférences possibles sont les radios locales émettant à la même fréquence, un signal facilement identifiable. Selon Stephan Meyer, physicien à l'Université de Chicago qui travaille sur l'holométrie, la manifestation d'un signal à cette fréquence confirmera l'existence du bruit holographique.

Physique [31