

4 • LISA RANDALL : « La gravité se cache dans d'autres dimensions »

Entretien Si la force de gravitation est si faible par rapport aux autres forces, c'est peut-être parce qu'elle « fuit » dans des dimensions de l'espace auxquelles nous n'avons pas accès.

Lisa Randall,
professeur de physique
théorique à l'université
Harvard. randall@
physics.harvard.edu

LA RECHERCHE : Vous défendez une conception de la gravitation originale et pour le moins étonnante. Quel en est le point clé ?

LISA RANDALL : Je me fonde sur l'existence de dimensions supplémentaires aux trois dimensions de l'espace auxquelles nous sommes habitués. Le fait que nous ne percevions pas ces dimensions ne signifie pas qu'elles ne peuvent pas exister. Par ailleurs, aucun argument, aucune théorie physique, pas même la relativité générale, n'impose l'existence de trois, et uniquement trois dimensions de l'espace. Or en supposant l'existence de ces dimensions supplémentaires, lorsque celles-ci présentent les propriétés que moi-même et d'autres physiciens théoriciens avons spécifiées, on peut alors résoudre plusieurs problèmes liés au comportement de la force de gravité. Et l'on comprend mieux, notamment, pourquoi cette force revêt un caractère si spécial.

Comment se manifeste ce caractère spécial ?

L. R. La force de gravité est l'une des quatre interactions fondamentales de la physique. Les trois autres sont les forces nucléaires faibles et fortes,

et la force électromagnétique. Le comportement et les propriétés de ces dernières sont très bien décrits par la mécanique quantique, via la théorie quantique des champs. Cette description unifiée permet de réunir ces trois forces au sein du Modèle standard de la physique des particules. Mais ce n'est pas le cas pour l'interaction gravitationnelle. Car cette force est décrite par la relativité générale, que l'on ne sait pas exprimer en termes quantiques. Lorsqu'on tente de combiner les équations de la relativité générale avec celles de la mécanique quantique, on obtient des « aberrations » qui n'ont aucun sens du point de vue de la physique. Autrement dit, la relativité générale perd toute capacité prédictive. La force de gravité se trouve ainsi exclue du Modèle standard.

Existe-t-il d'autres raisons ?

L. R. Chacune des trois forces réunies dans le Modèle standard est transmise par des particules : le photon, pour la force électromagnétique ; les bosons W et Z pour la force faible ; et les gluons, pour la force forte. De même, pour transmettre l'interaction gravitationnelle, dans le cadre d'une théorie quantique de la gravitation, les physiciens supposent l'existence d'une particule baptisée « graviton ». Le graviton doit engendrer une force attractive, avoir une portée infinie et exister en nombre illimité. En termes quantiques, cela implique que cette particule se propage à la vitesse de la lumière et que son spin (une propriété quantique fondamentale) ait une valeur très précise, égale à 2. Or aucune particule connue ne possède de telles caractéristiques. Il y a encore un autre problème qui préoccupe les physiciens des particules – par lequel j'en suis moi-même venue à m'intéresser à la force de gravité, et à l'existence, probable, de dimensions supplémentaires. Ce qui confère en

L'essentiel

> L'INTENSITÉ de la force gravitationnelle est incommensurablement plus faible que celles des autres interactions fondamentales de la physique.

> CETTE FAIBLESSE RELATIVE s'expliquerait par l'existence de dimensions supplémentaires, distortues et extrêmement courbées, où la gravité exercerait aussi son influence.

> CETTE HYPOTHÈSE sera testée dans les nouveaux accélérateurs de particules.

effet à l'interaction gravitationnelle un caractère si spécial, est que son intensité est incommensurablement plus faible que celle des trois autres forces. Cette particularité, et toutes les interrogations qu'elle soulève, est connue sous le nom de « problème de la hiérarchie ».

Pourriez-vous l'expliquer ?

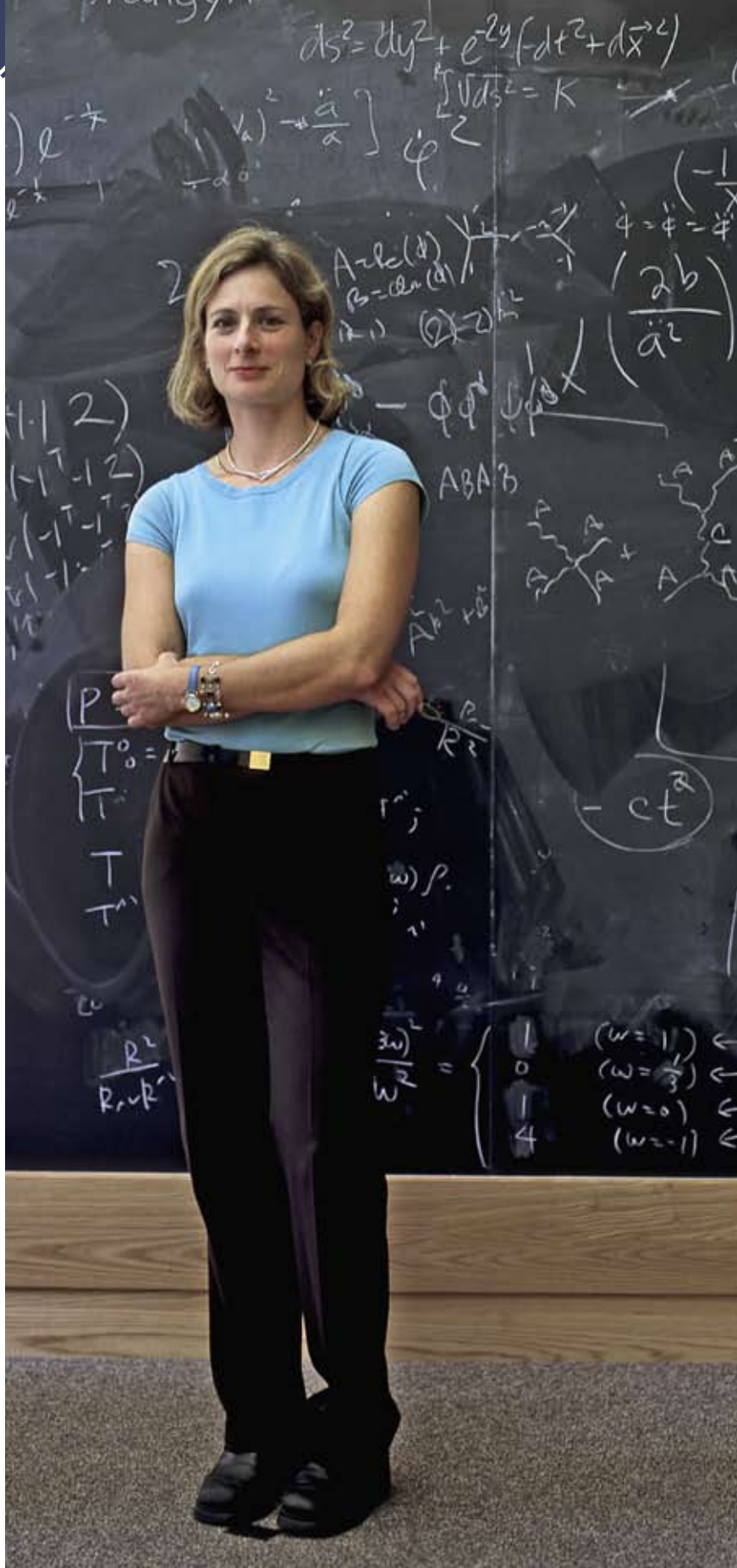
L. R. À l'évidence, un alpiniste qui escalade une montagne ne viendrait pas à penser que la gravité est une force aussi « faible » que cela. Songez toutefois que c'est l'attraction gravitationnelle de la Terre tout entière qui gêne alors le grimpeur dans son ascension. Songez aussi qu'un vulgaire aimant suffit pour dominer cette même interaction en attirant vers lui un trombone ou d'autres petits objets métalliques. À l'échelle des particules, la force gravitationnelle qui s'exerce entre deux électrons est, ainsi, 10^{42} fois moins importante que la force électrostatique ! Pourquoi une telle différence ? Les physiciens sont incapables de donner une justification à cet écart si important. Il leur apparaît comme un paramètre mystérieux, porteur d'un sens qui leur échappe, pour le moment. Mais aussi comme une raison supplémentaire de considérer la gravité comme une force à part, dont la nature véritable, plus fondamentale, resterait à déterminer.

Quelles pistes sont explorées pour comprendre la faiblesse relative de la force de gravité ?

L. R. Cela fait plus d'une trentaine d'années que les théoriciens s'évertuent à résoudre ce problème, par des voies multiples qui n'ont débouché sur aucune réponse convaincante. Depuis quelques années, une solution gagne toutefois en crédit. J'en ai été l'une des initiatrices avec Raman Sundrum, théoricien à l'université John Hopkins, dans le Maryland [1]. Elle trouve son origine dans le cadre des recherches sur la théorie des cordes. Cette théorie, certes hypothétique, n'en est pas moins considérée comme le meilleur candidat permettant de concilier la relativité générale et la mécanique quantique. Mais au prix de deux renoncements importants. Le premier consiste à considérer les particules élémentaires non plus comme des objets ponctuels, mais comme des cordes infinitésimales soumises à des vibrations perpétuelles. Le second, essentiel pour que la théorie des cordes fonctionne, conduit à postuler l'existence de dimensions supplémentaires aux trois dimensions de l'espace auxquelles nous sommes habitués.

Pour quelles raisons ces dimensions supplémentaires demeuraient-elles imperceptibles ?

L. R. Si vous êtes très éloigné d'un stade de football, par exemple, et que vous regardez, à >>>



Lisa Randall, ici à l'université Harvard, a été classée par le magazine *Time* comme l'une des « 100 personnes les plus influentes » au monde, pour ses conceptions révolutionnaires de la réalité physique et des dimensions cachées.

« La gravité se cache dans d'autres dimensions »

Entretien
avec
Lisa Randall

»»» l'aplomb, dans sa direction, vous observerez un objet ponctuel, unidimensionnel. En vous rapprochant, vous constaterez que cet objet possède une forme rectangulaire. Les détails et le caractère tridimensionnel apparaîtront seulement à proximité. Telle était, globalement, depuis les années 1920, moment où l'hypothèse de l'existence de dimensions supplémentaires a été pour la première fois exprimée, la manière dont les physiciens justifiaient le fait que ces dimensions demeurent cachées. Compactées, repliées sur elles-mêmes et caractérisées par une taille particulière, elles seraient tout simplement trop petites pour être observables et causer des effets que l'on puisse mesurer. Raman Sundrum et moi-même expliquons d'une façon totalement différente la raison pour laquelle les dimensions supplémentaires resteraient imperceptibles [2]. En se référant à la relativité générale, nous savons que l'énergie et la matière courbent l'espace-temps. Fondés sur les équations de cette théorie, nos calculs et leurs prédictions, qui ont été progressivement affinés, montrent que des dimensions supplémentaires peuvent présenter une géométrie hyperbolique particulière, extrêmement courbée et distordue [3]. Au point que des dimensions supplémentaires, même de taille infinie, pourraient exister et échapper à notre perception, comme à nos appareils de mesure.

Mais comment ces dimensions supplémentaires expliquent-elles la faiblesse de la gravité ?

L. R. Des éléments fondamentaux dans nos travaux sur les dimensions supplémentaires sont les « branes », autres bizarreries mathématiques prédites par la théorie des cordes, ainsi dénommés car on pourrait les décrire comme des sortes de membranes à plusieurs dimensions. Toutes les particules, et donc toutes les cordes infinitésimales en vibration, seraient attachées, par l'une de leurs extrémités, à ces branes, qui dictent leur comportement. Pour le comprendre, prenons l'analogie avec un rideau de douche, en deux dimensions, dans

une salle de bains, à trois dimensions. Les gouttes d'eau glissent le long du rideau, mais jamais dans l'ensemble de la pièce. Reliées au branes, les cordes à l'origine des particules élémentaires restent ainsi confinées dans certaines dimensions. À l'exception notable des cordes censées donner lieu aux gravitons. Contrairement aux autres cordes, celles-ci ne seraient pas dépliées, mais fermées sur elles-mêmes, formant une sorte de boucle. N'ayant pas d'extrémités, elles ne peuvent être attachées à une brane. Les gravitons pourraient ainsi se déplacer d'une brane à une autre, mais aussi dans toutes les dimensions de l'espace – les dimensions supplémentaires, en particulier. Une partie de l'énergie de l'interaction gravitationnelle se trouverait évacuée dans les dimensions supplémentaires, expliquant ainsi la faiblesse apparente et le caractère si spécial de cette force dans notre espace-temps à quatre dimensions.

Votre théorie est-elle vérifiable expérimentalement ?

L. R. Oui, absolument, grâce notamment au LHC, le nouvel accélérateur de particules du CERN, près de Genève, dont le démarrage, retardé en raison de dysfonctionnements techniques, est prévu pour décembre 2009. En faisant s'entrechoquer des protons à des énergies encore jamais atteintes, le grand collisionneur pourrait, en théorie, confirmer l'existence des dimensions supplémentaires et des particules censées s'y propager [4]. Les collisions de protons devraient par exemple entraîner l'émission de flots de particules dans toutes les directions de l'espace et de façon symétrique. La détection d'un flot de particules dans une seule direction viendrait ainsi étayer la présence de particules invisibles se propageant dans la direction opposée, le long d'une dimension supplémentaire. Et, selon les prédictions de notre modèle, les collisions de particules au sein du LHC dégageraient assez d'énergie pour former des gravitons, dont les produits de désintégration pourraient être enregistrés par les détecteurs de particules.

■ Propos recueillis par Franck Daninos

[1] L. Randall et R. Sundrum, *Phys. Rev. Lett.*, 83, 3370, 1999.

[2] L. Randall et R. Sundrum, *Phys. Rev. Lett.*, 83, 4690, 1999.

[3] A. Fitzpatrick et al., *Phys. Rev. Lett.*, 100, 71604, 2008.

[4] P. Meade et L. Randall, arXiv:0708.3017v1, 2007.

Pour en savoir plus

Livres et revues

- > Luc Blanchet, « Gravité modifiée ou matière modifiée ? », *L'Astronomie*, 14, 19, 2009.
- > Alain Bouquet, Emmanuel Monnier et Trinh Xuan Thuan, *Matière sombre et énergie noire : mystères de*

l'Univers, Dunod, 2008.

- > Franck Daninos, Pierre Astier et Reynald Pain, « Comment l'Univers s'est assombri », *La Recherche*, mai 2008, p. 30.

> Lisa Randall, *Warped Passages: Unraveling the Mysteries of The Universe's Hidden*

Dimensions, Ecco, 2005.

- > Jean-Philippe Uzan et Barbara Martinez, *La Gravitation ou pourquoi tout tombe toujours*, Le Pommier, 2005.

> Lisa Randall, « L'équation ultime pour la physique », *La Recherche*, octobre 2005, p. 42.

Sur le Web

- > <http://tiny.cc/eUJFL>
Un article (en anglais) sur les recherches visant à identifier le graviton et les dimensions supplémentaires par le Tevatron, l'accélérateur de particules du Fermilab, près de Chicago.

> http://spinor.info/weblog/?page_id=95

Une sélection de publications scientifiques sur l'anomalie Pioneer.

> <http://tiny.cc/LUq00>
Une mission spatiale pour tester le principe d'équivalence en relativité générale.