

La Gravitation

Journée de la division Champs et Particules de la SFP

La division Champs et Particules de la Société Française de Physique organise chaque année une journée thématique. La gravitation était à l'honneur le 22 novembre 2017 à l'université Paris-Diderot. Sous le regard croisé d'expérimentateurs et de théoriciens, cette rencontre a remarquablement mis en valeur la richesse et la diversité du sujet.

La gravitation est l'une des premières manifestations de la nature dont nous prenons conscience. Elle est aussi la première interaction fondamentale à avoir été comprise et formulée de manière opérationnelle dès la fin du 17^e siècle. Révisée par Einstein pour être compatible avec sa vision nouvelle de l'espace-temps, la théorie newtonienne de la gravitation aboutit à la relativité générale en 1915.

La relativité générale repose sur un édifice mathématique sophistiqué. Il fallut attendre les années 1960 pour commencer à entrevoir la portée physique de cette théorie, grâce à la découverte de phénomènes astrophysiques exotiques (quasars, pulsars, fond diffus cosmologique, mirages gravitationnels, etc.) et à la maîtrise de la mesure précise du temps (horloges atomiques). Les vérifications expérimentales se multiplient alors. L'expansion accélérée récente de l'Univers est acquise dans les années 2000 [1] et l'observation directe des ondes gravitationnelles est enfin réalisée en 2015.

À l'instar des ondes électromagnétiques, les ondes gravitationnelles définissent leur propre spectroscopie. Encore à ses débuts, celle-ci surprend par le nombre et par la variété des analyses qu'elle est capable d'effectuer : en moins deux ans, coalescence de cinq binaires de trous noirs de quelques-unes à quelques dizaines de masses solaires [2, 3] et fusion d'un binaire d'étoiles à neutrons, dans la gamme de fréquences de 10 Hz à 1 kHz. Une large part de la journée a été consacrée à ce sujet, à commencer par ses aspects théoriques, qui s'articulent autour des équations d'Einstein. Celles-ci décrivent l'évolution non linéaire d'un système et ne peuvent être résolues exactement, même pour un simple binaire d'étoiles. Diverses méthodes perturbatives sont élaborées et sont complétées par des approches de relativité numérique. Le but est de fournir une caractérisation aussi fine

La Gravitation
mercredi 22 novembre 2017 de 9h30 à 18h00
Amphithéâtre Buffon, APC - Université Paris-Diderot

Accueil 9h30
Méthodes théoriques pour les ondes gravitationnelles
Luc Blanchet - IAP, CNRS
Analyse des données et découvertes
Marie-Anne Bouvier - IAP, CNRS
Advanced Virgo/LIGO : aujourd'hui et dans les prochaines années
Vittorio Correia - LIGO
Tests de la gravité, Event Horizon Telescope et Gravity
Eric Goebel - IAP, CNRS
Astrophysique, cosmologie et physique fondamentale à l'ère de l'astronomie gravitationnelle
Edward Poisson - APC, Paris
Buffet-déjeuner 12h30
Simulations numériques et trous noirs binaires
François Foucault - IAP, CNRS
Réseaux de pulsars - Pulsar Timing Array
Gilles Theureau - IAP, CNRS
Forces quantiques et gravitation
Jean-François Dolezal - IAP, CNRS
Matière ultra-dense dans les étoiles à neutrons, contraintes astrophysiques et ondes gravitationnelles
Thomas Clément - IAP, CNRS
Café 15h30
Antimatière et gravitation - l'expérience GBAR
Yves Rosen - IAP, CNRS
Modified gravity theories and recent constraints
Christos Charmousis - IAP, CNRS
Principe d'équivalence - expérience Microscope
Romain Lehoucq - ONERA, CNRS
Lisa/LisaPathfinder : état des lieux
Joseph Martino - APC, Paris
Clôture 18h00

Comité : Cédric Deffayet (IAP), Frédérique Marion (LAPP), Marios Petropoulos (CPHT-X), Eric Plagnol (APC)

SFP JOURNÉE DE LA DIVISION - CHAMPS & PARTICULES **SFP**
<https://indico.in2p3.fr/event/16495/>

que complète d'un signal gravitationnel et de sa source. Lorsque la source est un binaire d'étoiles à neutrons, le signal obtenu dépend de l'équation d'état de la matière hadronique, sujet encore largement débattu – et discuté pendant la journée thématique.

Les découvertes sont rendues possibles aujourd'hui moyennant un réseau de détecteurs interférométriques développé au sein des collaborations LIGO et Virgo, et ce après deux décennies d'améliorations continues [3]. Au nombre de trois, les détecteurs LIGO-Virgo seront multipliés au cours des dix années à venir, avec de nouvelles installations en Europe, aux USA, en Inde et au Japon. Ceci permettra de localiser avec plus de précision les sources des ondes gravitationnelles observées et répondra mieux aux multiples enjeux de la spectroscopie gravitationnelle : (i) être en mesure de sonder un volume d'Univers aussi grand que possible, (ii) avoir une

sensibilité satisfaisante dans une large gamme de fréquences, (iii) corréler efficacement les signaux gravitationnels aux autres signaux émis lors d'une fusion d'objets compacts, (iv) extraire de ces signaux une information utile en cosmologie ou en astrophysique. Plusieurs exposés ont permis de faire le point sur ces questions, ainsi que sur des projets qui dépassent LIGO-Virgo, comme la mission spatiale LISA et son démonstrateur technique LISA Pathfinder, adaptée aux signaux de fréquence inférieure à 100 mHz, ou encore les systèmes de réseaux de pulsars (Pulsar Timing Arrays), qui permettraient de descendre sous le seuil de 10^{-7} voire 10^{-9} Hz.

Quoiqu'en accord avec tous les tests réalisés à ce jour, la description de la gravitation par la relativité générale soulève encore des questions qui méritent un examen approfondi. A-t-on vraiment



observé l'horizon d'un trou noir ? Est-on certain que matière et antimatière tombent de la même façon dans un champ de gravitation ? À quel degré de précision le principe d'équivalence est-il éprouvé ? Des expériences en cours et à venir (Microscope pour le principe d'équivalence [4], Event Horizon Telescope et Gravity pour les trous noirs et leurs horizons, GBAR pour l'interaction gravitationnelle de l'antimatière) apporteront sans doute des éléments de réponse.

Enfin, ont été abordés deux sujets situés au cœur des études théoriques réalisées depuis quelques dizaines d'années. Le premier, et le plus ancien, concerne l'ouverture de l'interaction gravitationnelle au monde quantique : comprendre le comportement microscopique, *i.e.* à l'échelle de Planck, 10^{-33} cm. Le second, situé aux antipodes, consiste à modifier la théorie aux échelles cosmiques. Un tel amendement à la relativité générale permettrait peut-être de s'affranchir de l'énergie et/ou de la matière sombres, pierres angulaires de la cosmologie moderne qui suscitent pourtant de nombreuses interrogations.

La journée du 22 novembre 2017 a réuni une centaine de participants. Elle a permis de mettre en évidence la variété des thèmes abordés et l'implication internationale des laboratoires concernés. Sur les plans à la fois théorique et expérimental, la gravitation passionne et promet un avenir dynamique.

Marios Petropoulos

(marios.petropoulos@polytechnique.edu)
Centre de Physique Théorique,
École polytechnique, 91128 Palaiseau

Références

- 1• N. Palanque-Delabrouille et C. Yèche, « Changement de rythme dans l'expansion de l'Univers », *Reflets de la physique* **51** (décembre 2016) 12-17.
- 2• Luc Blanchet, « Les ondes gravitationnelles, cent ans après Einstein », *Reflets de la physique* **52** (février 2017) 6-12.
- 3• Nicolas Arnaud, « Les premières détections des ondes gravitationnelles », *Reflets de la physique* **52** (février 2017) 14-20.
- 4• Voir la Brève, « Les premiers résultats de MICROSCOPE confirment la validité du principe d'équivalence avec une précision inégalée », dans ce numéro, p. 25.

Les contributions des orateurs de la journée sont disponibles sur le site :
<https://indico.in2p3.fr/event/16495/contributions/>