

Caractérisation détaillée des paramètres orbitaux et des éclipses des pulsars « veuves noires » par leur chronométrie radio et utilisation de cette nouvelle population de pulsars rapides pour la détection du fond d'ondes gravitationnelles

Source et détails sur le financement : bourse ministérielle acquise

Mots clés : pulsars binaires, radioastronomie, ondes gravitationnelles

Compétences nécessaires : formation en master d'Astrophysique, bonne connaissance du langage Python, bonne pratique de l'anglais.

Sujet scientifique de la thèse : Les étoiles à neutrons ont des diamètres de 20 à 30 km, des masses comprises entre 1,2 et 2 masses solaires, et des champs magnétiques qui peuvent dépasser 10^8 T. Lors de l'effondrement gravitationnel qui leur a donné naissance, elles ont acquis une rotation extrêmement rapide et stable qui leur confie des propriétés d'horloges cosmiques incomparables. Leur faisceau de rayonnement balayant l'espace comme un phare, on les observe en radio sous la forme de pulsars avec des périodes de rotation de quelques secondes à quelques millisecondes. La précision des mesures sur les temps d'arrivée des impulsions radio atteint parfois bien mieux que la microseconde et permet des études très détaillées des paramètres orbitaux dans les systèmes binaires. La chronométrie d'un réseau de pulsars ultra-stables fonctionne par ailleurs comme un détecteur galactique géant pour observer les ondes gravitationnelles dans le domaine du nHz. Une nouvelle population de pulsars très rapides a été découverte il y a quelques années. On les appelle les « Veuves Noires », parce qu'ils sont en orbite avec des compagnons de faible masse qu'ils ont « dévoré » en partie. Leur orbite est serrée, avec une période orbitale typique de quelques heures. La chronométrie de ces pulsars révèle des variations lentes et apparemment aléatoires de la période orbitale qui sont possiblement liées aux effets de marée imposés par le pulsar sur son compagnon. De plus, l'irradiation du compagnon par le pulsar provoque l'évaporation de ce dernier, ce qui donne lieu à des éclipses du pulsar par le matériau évaporé. La modélisation de ces deux phénomènes par des méthodes stochastiques et/ou déterministes devrait permettre l'inclusion de ces pulsars dans les réseaux de chronométrage ([4]) en découplant ces phénomènes de l'effet provoqué par le passage d'ondes gravitationnelles. Cette thèse s'élaborera à partir de travaux récents [1], notamment sur les points suivants :

- étude des évolutions temporelles, fréquentielles et en polarisation du faisceau de rayonnement de chaque pulsar, pour permettre leur séparation du signal gravitationnel recherché ;
- évaluation de l'effet des éclipses sur la détection d'ondes gravitationnelles ;
- inclusion de l'effet encore peu étudié du moment quadrupolaire gravitationnel du compagnon [2] dont la mesure donnera accès à la structure interne de ces étoiles à l'évolution inhabituelle ;
- étude des corrélations éventuelles entre les irrégularités de la période orbitale et les autres observables et caractéristiques du système (notamment les éclipses ou les informations

provenant d'observations optiques du compagnon, mais aussi les propriétés du pulsar lui-même);

- évaluation de différentes méthodes de modélisation des variations de la période orbitale (e.g.[3])
- études de population en inter-comparant les propriétés d'une quinzaine de ces systèmes « veuves noires » suivis très régulièrement avec le grand radiotélescope décimétrique de Nançay.

Informations complémentaires : L'étudiant(e) sera accueilli(e) au sein de l'équipe d'astrophysique du LPC2E à Orléans, qui collecte des données chronométriques très précises depuis plus de 20 ans avec le NRT, développe instrumentations dédiées et chaînes de traitement, et collabore au niveau européen et mondial (European and International Pulsar Timing Arrays – EPTA and IPTA) pour la mise en commun des données et des outils d'analyse. Il/elle participera activement à l'exploitation des données NRT et à leur combinaison avec celles issues d'autres radiotélescopes, notamment du nouvel instrument MeerKAT, précurseur du Square Kilometre Array (SKA), et déployé en Afrique du Sud. Il/elle interagira notamment fortement dans les groupes de travail «timing» de l'EPTA et de l'IPTA, et participera à la combinaison des données mondiales, dont le but est d'améliorer le seuil de détection du fond d'ondes gravitationnelles [4]. Il/elle travaillera par ailleurs en étroite collaboration avec Guillaume Voisin, chercheur au LUTH (Observatoire de Meudon), et René Breton, chercheur à l'Université de Manchester (Royaume-Uni), tous deux spécialistes de la modélisation de l'émission et des propriétés orbitales des « veuves noires », et qui apporteront leur expertise théorique pour accompagner le projet.

Références :

[1] The International Pulsar Timing Array: second data release, Perera et al. 2020, <https://arxiv.org/abs/1909.04534>

[2] The Feasibility of Using Black Widow Pulsars in Pulsar Timing Arrays for Gravitational Wave Detection, Bochenek et al. 2015, <http://adsabs.harvard.edu/abs/2015ApJ...813L...4B>

[3] First measurement of the total gravitational quadrupole moment of a black widow companion, Voisin et al. 2020, <https://academic.oup.com/mnras/article/494/3/4448/5818352>

[4] Einstein@Home discovery of the gamma-ray millisecond pulsar PSR J2039–5617 confirms its predicted redback nature, Clark et al. 2021, <https://doi.org/10.1093/mnras/staa3484>