

EM DÓNES VOLTES (COM UN ESTEL): EN CERCA D'ONES GRAVITACIONALS CONTÍNUES D'ESTELS DE NEUTRONS BINARIS DESCONEGUTS

Els **estels de neutrons** (NS, de l'anglès Neutron Stars) són el resultat d'explosions de supernova, el romanent d'una estrella primitiva amb una massa d'entre 10 i 25 vegades la massa del Sol. Aquests objectes compactes tenen un radi típic de 10 km i una massa similar a la del nostre Sol, fent de les NS un dels entorns més extrems on s'ha observat matèria. Actualment, l'estructura i composició d'aquests objectes compactes és un camp de recerca actiu i interdisciplinari, que uneix treballs de les comunitats de física de partícules i astrofísica.

L'extrema compacitat (o densitat) d'aquests objectes fa d'ells un interessant laboratori per a posar a prova efectes relativistes com l'emissió de radiació gravitacional. De fet, els detectors Advanced LIGO i Advanced Virgo han detectat nombrosos esdeveniments d'ones gravitacionals relacionats amb la **fusió de dos NS**. Una d'aquestes deteccions, **GW170817**, fins i tot va estar acompanyada per un homòleg electromagnètic, generant la primera detecció multimissatgera d'un esdeveniment astrofísic mitjançant ones gravitacionals i llum.

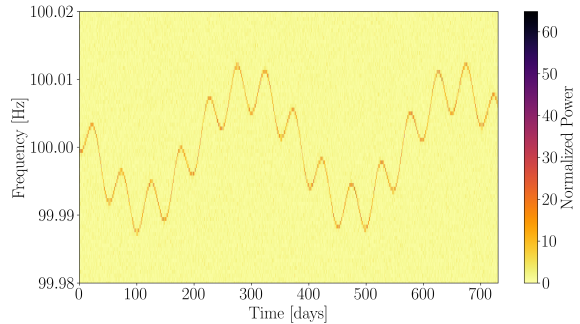


Figura 1: Exemple d'una CW forta simulada com es mostra en l'espectrograma. Aquest senyal correspon a un NS deformat girant 50 vegades per segon orbitant un acompanyant amb un període orbital de 50 dies. Les oscil·lacions més àmplies, amb periodicitat de 365 dies, corresponen a la modulació de Doppler induïda pel moviment orbital de la Terra al voltant del Sol. Les més estretes, amb periodicitat de 50 dies, corresponen al moviment orbital de la font de CW al voltant del seu acompanyant. La durada del flux de dades (2 anys) es pren per a ser més llarga que la usada en aquesta cerca (6 mesos) degut a fins il·lustratius.

Les **ones gravitacionals contínues** (CW, de l'anglès Continuous Waves) són un altre canal mitjançant el qual es pot investigar l'estructura interna de NS en rotació ràpida. Segons la teoria, els NS poden sostenir desviacions respecte a una forma simètrica, bé sigui per les imperfeccions en l'escorça exterior, una perturbació oscil·lant en l'estructura interna o precessions lliures degudes a desalineacions entre la simetria i els eixos de rotació. A mesura que el NS gira ràpidament, aquestes deformacions produïrien radiació gravitacional en forma de CW. Aquesta forma de radiació gravitacional és diversos ordres de magnitud més feble que les produïdes durant la fusió d'objectes compactes. Així i tot, duren llargs períodes de temps (de mesos a anys), permetent la integració de llargs fluxos de dades per a acumular una alta relació senyal/soroll.

Les cerques per a aquesta mena de senyal estan dividides d'acord amb el que es coneix sobre les potencials fonts. Per exemple,

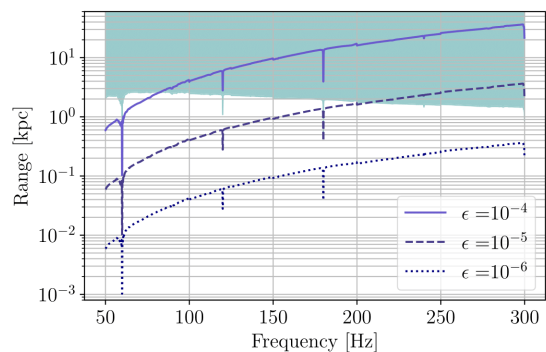


Figura 2: Abast astrofísic màxim cobert per la nostra cerca en funció de la freqüència. Les corbes representen diferents valors de deformació, caracteritzats cap la el·lipticitat per a una NS. Majors deformacions i freqüències més altes tendeixen a generar CW més fortes, permetent-nos sondejar-les a majors distàncies. La regió ombrejada implica taxes de spindown més enllà de les provades per la cerca, sense assumir cap altre mecanisme d'equilibri. Com a referència, el NS conegut més proper a nosaltres està situat a 0.1 kpc de distància.

les cerques específiques (targeted searches en anglès) se centren en NS per a les quals la posició en el cel i la freqüència de rotació són conegudes per mitjans electromagnètics, mentre que les cerques dirigides apunten a unes certes regions del cel on poden estar situats NS desconeguts. Nosaltres presentem els resultats d'una cerca del cel complet, que significa que busquem senyals de CW provinents de NS completament desconeguts des de qualsevol direcció del cel. Particularment, ens centrem en NS desconeguts en **sistemes binaris**. El senyal esperat de NS aïllats és una ona de llarga durada, la freqüència de la qual es redueix lentament a causa de l'emissió d'energia a través de diferents mitjans com la radiació electromagnètica o gravitatòria. Aquest efecte d'alentiment de la rotació (**spindown** en anglès) és prou lent com per a ser ignorat donada la població de NS considerats per aquesta cerca. Des del punt de vista del detector en la Terra, el senyal presenta una modulació de freqüència a causa de la rotació diària i els moviments orbitals del nostre planeta. Aquest senyal és molt més complex per a NS en un sistema binari, ja que s'ha de considerar una segona **modulació de Doppler** a causa del moviment relatiu de la font al voltant del seu cos acompanyant.

En aquesta cerca, apliquem una variació de la **transformada de Hough** anomenada BinarySkyHough, que opera utilitzant un **espectrograma** de les dades. Aquest espectrograma aporta informació sobre quines freqüències són les més destacades en les dades a mesura que l'observació progressa. La idea bàsica és que un senyal CW podria aparèixer com un excés de potència en l'espectrograma que modula d'una forma molt particular, com s'exemplifica en la Figura 1. Podem descriure traces significatives usant un conjunt de paràmetres relacionats amb les propietats físiques de la font considerada, com la seva freqüència de rotació o la seva posició en el cel; per tant, buscar una CW és qüestió d'identificar traces significatives en les dades.

A causa de la inclusió de paràmetres orbitals binaris, que descriuen la forma d'una òrbita binària, hem de buscar més paràmetres que quan explorem NS aïllats. Això planteja un problema per als algorismes de cerca típics, a mesura que el cost computacional, fàcilment, es torna insostenible. Una solució senzilla és usar **Unitats de Processament Gràfic** (GPU) per a realitzar aquest tipus de cerques eficientment, ja que són capaces d'agilitzar càlculs simples duent a terme una gran quantitat d'ells en paral·lel.

Usarem dades del principi del tercer període d'observació dels detectors Advanced LIGO i Advanced Virgo, abastant sis mesos de dades des d'abril fins a setembre del 2019, per a buscar CW de NS desconeguts en sistemes binaris en la banda més sensible dels detectors. No trobarem evidències de senyals de CW. Com a resultat, estimarem la sensibilitat de la nostra cerca mitjançant l'estudi de la recuperació d'una població de senyals simulats. Inicialment aquesta sensibilitat està expressada en termes de l'amplitud de CW més feble detectable per la nostra canonada. Aconseguirem la millor sensibilitat fins avui per a l'espai de paràmetres analitzat, amb l'amplitud detectable més feble un 60% menor que les estimacions anteriors.

Interpretarem aquests resultats en termes de respondre a dues preguntes astrofísicament interessants, concretament, com tan lluny de la Terra va ser capaç de sondejar la nostra cerca. Les figures 2 i 3 resumeixen l'abast màxim de la nostra cerca i la màxima deformació permesa per a una font de CW com una funció de la freqüència de l'ona gravitacional. Com s'ha comentat anteriorment, considerarem fonts de CW amb spindown negligible. Aquesta suposició estableix un límit en la màxima deformació sondejada per a un NS, representat per les regions ombrejades en aquestes figures. En altres paraules, si no existeixen mecanismes d'equilibri, les regions ombrejades s'exclouen dels nostres resultats, ja que implicarien taxes d'spindown més altes que les cobertes per aquesta cerca. Un possible mecanisme d'equilibri que contraresta l'spindown de la NS podria ser l'**acreció** de matèria del cos acompanyant. Aquests resultats mostren la millora creixent dels detectors Advanced LIGO i Advanced Virgo a mesura que aconseguen la seva sensibilitat de disseny, permetent acostar-nos als límits superiors de les propietats dels NS cada vegada més prop dels resultats estimats proporcionats per les simulacions numèriques.

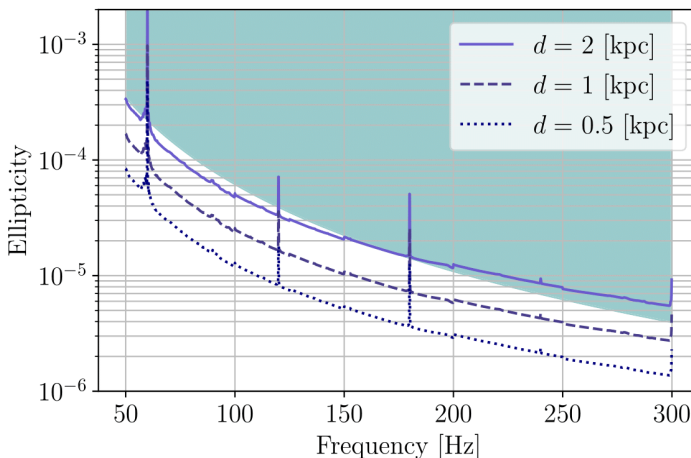


Figura 3: Màxima deformació permesa per a una NS dins del nostre abast de cerca en funció de la freqüència. Aquestes corbes representen com de deformada ha d'estar una NS per a generar una CW detectable per la nostra cerca. Atès que l'amplitud d'una CW decau amb la distància, fonts més properes estan obligades a tenir el·lipticitats més baixes que aquelles més llunyanes. La regió ombrejada implica taxes d'spindown més enllà de les provades per la cerca, sense assumir cap altre mecanisme d'equilibri.

DESCOBREIX MÉS:

Visita les nostres pàgines web:

www.ligo.org, www.virgo-gw.eu

Llegeix un preprint gratuït de l'article científic [aquí](#).

Llegeix una introducció a les ones gravitacionals contínues [aquí](#).

Visita les nostres pàgines web:

<http://www.ligo.org>

<http://www.virgo-gw.eu>



GLOSSARI

Estel de neutrons: Romanent del procés de la supernova sofert per una estrella amb una massa entre 10 i 25 vegades la massa del nostre Sol. Els estels de neutrons típics tenen una massa al voltant de 1-2 masses solars i un radi de 10-15 quilòmetres, sent un dels objectes més compactes mai descobert.

Ona gravitacional contínua: Radiació gravitatòria de llarga durada. Consulti [aquí](#) per a més detalls.

El·lipticitat: Mesura de quina tan lluny d'esfèric està un cos, definit com la deformació relativa al llarg del pla equatorial respecte a la deformació al llarg de la direcció perpendicular.

Spindown: Velocitat a la qual una estrella de neutrons en rotació s'alenteix a causa de l'emissió d'energia a través d'ones electromagnètiques o gravitacionals.

Modulació de Doppler: Canvi en la freqüència d'una ona a causa del moviment relatiu de la font i l'observador.

Sistema binari: Parell d'objectes astronòmics units per la seva atracció gravitacional.

Transformada de Hough: Algorisme per a identificar formes ben descrites en imatges com les descrites per un espectrograma.

Espectrograma: Representació visual de la composició de freqüències d'una sèrie temporal.

Unitats de Processament Gràfic (GPU): Maquinari especialitzat adequat per al processament de dades mitjançant paral·lelització massiva.

Accreció: Transferència de matèria entre dos cossos en òrbita a causa de l'acció de la gravetat.

Kiloparsec (*kpc): Mil parsecs. Un [parsec](#) és una unitat astronòmica de longitud que correspon aproximadament a 3 anys llum o 30 bilions de quilòmetres.