

CERCA GENÈRICA DE TRANSITORIS D'ONES GRAVITATÒRIES EN ELS PRIMERS HUIT MESOS DEL QUART PERÍODE D'OBSERVACIÓ DE LIGO-VIRGO-KAGRA

Tots els senyals d'ones gravitatòries (OG) observats fins ara per la col·laboració LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) provenen de la [fusió de sistemes binaris d'objectes compactes](#), en què un parell d'estels de neutrons o forats negres col·lisionen després d'un llarg ball còsmic. Un dels majors èxits de la teoria de la [relativitat general](#) és la predicció acurada de senyals d'OG emesos en aquests esdeveniments cataclísmics. Però, quasi amb tota seguretat hi ha altres fonts d'OG a l'Univers, no tan bé compreses i encara per detectar. Algunes de les fonts més prometedores emeten [senyals transitoris](#) la forma dels quals no es coneix amb precisió.

Aquest article presenta una cerca d'aquest tipus de senyals realitzada durant la primera part de l'últim [període d'observació](#) de la LVK, anomenat O4a, el qual tingué lloc entre maig del 2023 i gener del 2024. En particular, es tracta d'una cerca de transitoris de llarga durada, que s'estenen aproximadament en un interval d'aproximadament 1-1000 segons. Encara que no sabem exactament d'on provenen aquests senyals, algunes teories prediuen que podrien ser emesos per deformacions no esfèriques en estels de neutrons acabats de formar, per discs d'acreció inestables al voltant de forats negres, o per sistemes binaris d'estels de neutrons o forats negres en òrbites molt excèntriques (és a dir, no circulars). En particular, aquests tipus de senyals transitoris ens podrien donar una idea sobre què ocorre [després de la fusió d'estels de neutrons](#), com l'espectacular [GW170817](#): si el romanent resultant és un estel molt massiu o un forat negre.



Figura 1: Impressió artística d'un estel de neutrons hipermassiu format després de la fusió de dos estels de neutrons. Aquests objectes exòtics poden crear transitoris d'ones gravitatòries de llarga durada. Crèdit: ESO/L. Calçada/M. Kornmesser

PER SABER-MÉS:

Visita les nostres pàgines web: www.ligo.org
www.virgo-gw.eu
gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/



La cerca es va dur a terme amb dos algorismes independents. Es van observar al voltant de 120 dies de dades en què els detectors LIGO Livingston i LIGO Hanford estaven recollint dades d'alta qualitat - crucial per distingir els senyals astrofísics, els quals deuriem estar presents en ambdós detectors, del soroll que podria aparèixer només en un. Un dels algorismes de cerca, coherent WaveBurst (cWB), ha sigut millorat per ser més sensible a aquest tipus particular de senyals, en comparació amb la [cerca realitzada durant el període d'observació anterior \(O3\)](#). Aquesta millora inclou l'ús de XGBoost, un mètode d'aprenentatge automàtic basat en un algoritme de decisió altament eficient, el qual serveix com a classificador per distingir els senyals del soroll, la qual cosa permet que permet augmentar la sensibilitat de la cerca.

Aquesta és la primera vegada que l'aprenentatge automàtic s'ha emprat en una cerca de la LVK. L'altre algoritme, PySTAMPAS, està realitzant una cerca a tot el cel per primera vegada.

Després d'eliminar els candidats corresponents amb fusions de forats negres conegudes, no es van detectar esdeveniments astrofísics nous. El candidat més significatiu identificat per cWB i PySTAMPAS va tindre una [freqüència de falsa alarma](#) d'1 per 8 mesos i d'1 per 6 mesos, respectivament, cosa que es considera soroll en ambdós casos.

Malgrat aquesta manca de deteccions, encara podem obtenir informació astrofísica interessant a partir d'aquesta cerca. L'ús de senyals de mostra que representen tipus particulars de fonts ens permet quantificar la sensibilitat de cada cerca, i podem aprendre sobre la freqüència en què aquests tipus d'esdeveniments ocorren a l'Univers. A més, el fet de no haver-hi detectat res significa que aquests senyals transitoris de llarga durada podrien ser més estranys o més dèbils que un cert "[límit superior](#)". La **Figura 2** mostra aquests límits superiors en l'amplitud del senyal gravitatori, en negre, respecte amb els millors límits obesos durant O3, en gris. Per a la major part dels tipus de senyals, aquests límits són al voltant de 1.2-2 vegades més rigorosos, gràcies a la millora de la sensibilitat del detector i a l'ús d'algoritmes de cerca més avançats. Les cerques futures en la resta de dades d'O4 ([que deuria de continuar fins finals del 2025](#)) tindran una millor sensibilitat, el que permetrà obtenir límits més ajustats i anar més enllà en el camí cap a nous descobriments.

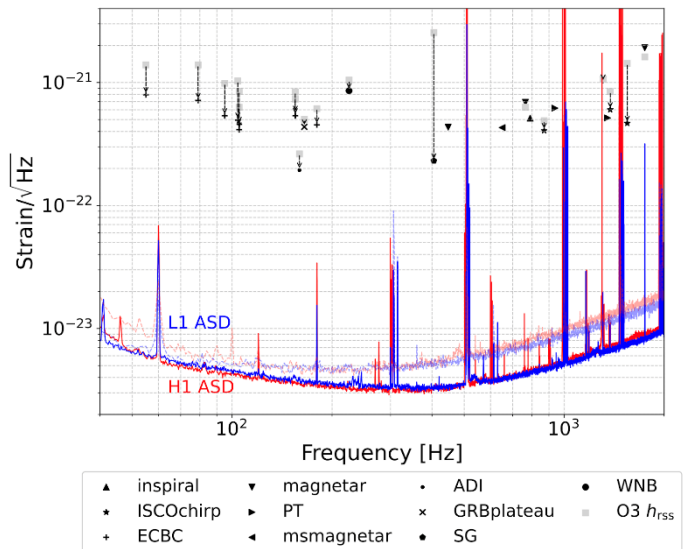


Figura 2: Els límits superiors en l'amplitud de l'ona gravitòria en comparació amb la sensibilitat dels detectors LIGO (blau i roig), per a diversos tipus de senyals transitoris de llarga durada. L'eix vertical indica l'amplitud ("deformació gravitatòria"), i l'eix horitzontal senyala la freqüència de l'ona gravitòria. Cada marcadore negre representa el límit superior de l'amplitud obtingut en O4a per a un tipus de senyal transitori donat, respecte a la seua contrapartida d'O3 en gris. La majoria dels límits s'han millorat un factor 1.2 - 2. Per exemple, el "magnetar" (fletxa cap avall) i el "msmagnetar" (mil·lisegon, fletxa cap a l'esquerra) representen senyals que provenen de dos diferents tipus de magnetars, mentre que "ECBC" (fusió d'una binària compacta excèntrica, símbol +) es refereix a binàries en òrbites excèntriques. Altres tipus inclouen "inspiral" (fusions de binàries d'estels de neutrons), "ISCOchirp" (ones gravitatòries provinents de l'òrbita circular estable més interna al voltant d'un forat negre en rotació), "PT" (acreció sobre estels de neutrons), "ADI" (inestabilitat del disc d'acreció), "GRBplateau" (magnetars noutats que alimenten esteses repeticions d'esclats de raigs gamma), "SG" (formes d'ona sinusoidals-gaussianes), i "WNB" (transitoris de soroll blanc).

GLOSSARI

Fusió d'un sistema binari d'objectes compactes - abreuiat comunament com CBC, es refereix a l'aproximació gradual seguida de la fusió final de dos forats negres, dos estels de neutrons o d'un forat negre i un estel de neutrons. Tot el procés produeix ones gravitatòries que augmenten en freqüència i amplitud a mesura que els dos objectes s'apropen l'un a l'altre i s'acceleren. L'objecte resultant de la fusió pot ser un estel de neutrons o un forat negre, i això dependrà del sistema inicial. Els objectes de la binària es coneixen amb els seus components, i el component primari sempre és aquell més massiu.

Relativitat general - La teoria de la gravetat proposada per Albert Einstein l'any 1915. En aquesta teoria, l'espai i el temps són com un teixit mal·leable que es deforma en presència de matèria i d'energia, i els objectes segueixen trajectòries a través d'aquest espai corbat.

Cerca de transitoris - Una cerca basada en la presència d'excés d'energia en una xarxa de detectors d'ones gravitatòries, sense assumir cap model específic per a la forma de l'ona gravitatòria.

Transitori - Fenomen astronòmic d'escala temporal breu; a diferència d'esdeveniments astrofísics que duren des de milers fins a milions d'anys.

Període d'observació - Un període temporal en què els detectors d'ones gravitatòries estan prenent dades.

Freqüència de falsa alarma - Aquest terme s'empra per quantificar la probabilitat que un esdeveniment sigui causat per soroll. Es calcula mitjançant la simulació d'esdeveniments provinents de soroll i l'estudi de la intensitat del senyal, per així derivar una distribució de nombre esperat d'aquests esdeveniments com a funció de la intensitat del senyal. Més concretament, si un esdeveniment té una freqüència de falsa alarma d'una per dia, això significa que esperem que el soroll del detector produïa aquest esdeveniment al voltant d'una vegada per dia. Per tant, serà difícil creure que aquest és un esdeveniment astrofísic.

Límit superior - Indica el valor màxim que una quantitat pot assolir mentre siga consistent amb una manca de detecció. Emplem un interval de confiança del 95%, és a dir, que donades les dades hi ha una probabilitat del 95% que aquesta quantitat siga inferior a aquest límit.

PER SABER-NE MÉS:

Visita les nostres pàgines

web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

Llig [ací](#) una versió gratuïta de l'article científic complet