

UNA CERCA AMB GEO600 D'ONES GRAVITACIONALS COINCIDENTS AMB ESCLATS GALÀCTICS RÀPIDS DE RÀDIO PROVINENTS DE SGR1935+2154

Els esclats ràpids de ràdio ("Fast Radio Bursts", FRB) són una classe de senyals de ràdio energètics, que normalment duren aproximadament una mil·lèsima de segon. La gran majoria dels milers de FRB detectats arriben a la Terra des de distàncies molt grans fora de la nostra pròpia galàxia. La nostra capacitat per detectar FRB extragalàctics està relacionada amb la seva potència extremadament gran: un sol FRB pot ser entre 100000 i 10 bilions de vegades més brillant que el Sol en una fracció de segon! En alguns casos, més d'un únic FRB brilla des del mateix lloc del cel, però en moments diferents (separats per períodes de quietud que duren de minuts a anys), donant a entendre que els processos físics que produeixen FRB no destrueixen completament les seves fonts (malgrat l'enorme energia alliberada).

Tot i que no sabem els orígens precisos dels FRB, creiem que provenen d'esdeveniments poderosos a les proximitats dels [estels de neutrons](#). Una fracció d'aquests estels de neutrons alberguen els camps magnètics més forts que es coneixen a l'Univers, aproximadament un quadrilió de vegades (10^{15}) el de la Terra, per tant, s'anomenen convenientment "[magnetars](#)". El camp magnètic d'un magnetar enfila el seu interior, travessa la seva superfície i s'estén a grans distàncies d'ell, formant una densitat extremadament baixa, la "magnetosfera", semblant a les magnetosferes de la Terra o del Sol. Els magnetars són objectes físicament extrems que no només allotgen FRB, sinó també altres tipus d'activitat, com ara esclats de [raigs X](#), que són llamps brillants de raigs X, i "glitches", que són canvis sobtats de la velocitat de rotació del magnetar.

Un indici important sobre la naturalesa dels FRB va arribar quan el magnetar galàctic SGR 1935+2154 va produir un FRB el 28 d'abril de 2020, sent la primera vegada que un FRB venia de la nostra pròpia galàxia, i també la primera vegada que es van observar FRB i esclats de raigs X simultàniament. En menys de tres anys, aquesta font especial ha produït tres FRB més: el 8 d'octubre de 2020, el 14 d'octubre de 2022 i l'1 de desembre de 2022.

Si bé els FRB i les erupcions de raigs X de magnetars poden ser fenòmens relacionats, el mateix magnetar pot produir FRB sense erupcions de raigs X i viceversa. Aquest ha estat el cas de la SGR 1935+2154. Una teoria líder afirma que les erupcions es produeixen com a resultat de l'activitat sísmica a l'escorça dels magnetars. Sota una torsió prou forta, l'escorça s'esquerda, tal com ho fa l'escorça terrestre durant un terratrèmol. L'enorme energia alliberada durant l'esquerda de l'escorça s'imparteix tant a l'interior de l'estel de neutrons com a la magnetosfera que l'envolta. La fracció de l'energia que va a la magnetosfera pot produir, finalment, una erupció magnetar i/o desencadenar un FRB. La resta de l'energia (en realitat, la major part) colpeja l'interior de l'estel de neutrons, fent-lo vibrar a freqüències molt especials, els anomenats modes oscil·latoris quasi normals.

RECERCA D'ONES GRAVITACIONALS

Les ones gravitacionals (GW) són vibracions en el teixit de l'espai-temps, que poden transportar energia des de les seves fonts a la resta de l'univers. Les oscil·lacions de l'interior del magnetar induïdes per fractures de l'escorça són una font potencial de GW i poden estar relacionades amb com s'emeten els FRB. Atès que les propietats d'aquests GW depenen de la naturalesa de l'estel de neutrons i del seu camp magnètic, la seva observació gairebé en concurrència amb les erupcions magnetars és un descobriment buscat durant molt de temps, però fins ara no aconseguit. Alguns models teòrics avançats prediuen de fet que l'energia alliberada en GW a partir d'oscil·lacions internes de magnetars aïllats pot ser relativament modesta en comparació amb les fonts de GW detectades (per exemple, fusions de forats negres binaris). Per tant, els detectors actuals de GW no serien prou sensibles per mesurar-los. Tot i que un descobriment de GW en associació amb l'activitat magnetar seria

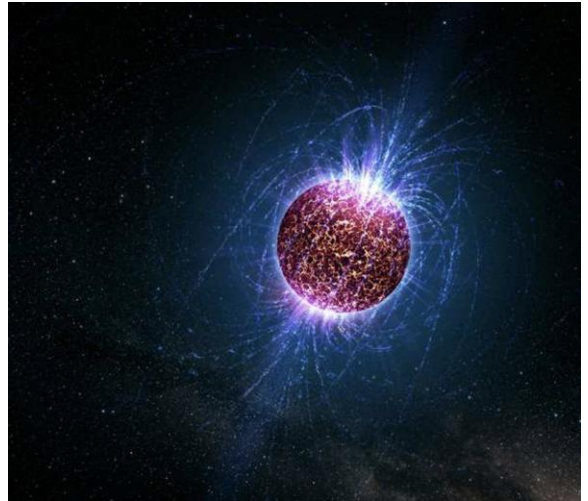


Figura 1: Impressió artística d'un magnetar, una possible font d'esclats ràpids de ràdio. Crèdit: NASA.

DESCOBREIX MÉS:

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



FIGURES DE LA PUBLICACIÓ

extremadament gratificant, el seu no descobriment ens permet estimar un llindar superior per a l'energia alliberada en GW i, per tant, restringir els models que utilitzem per entendre la naturalesa dels magnetars. En aquest article, informem sobre la no detecció de GW en associació amb els FRB observats per al magnetar galàctic SGR 1935+2154.

Com més lluny es trobi la font de GW, més petita serà l'amplitud de deformació. Fins i tot quantitats gegants d'energia, com les alliberades en poderoses fonts astrofísiques, produeixen amplituds de deformació minúscules a la Terra, tan petites que s'han d'utilitzar detectors extremadament sofisticats. Detectem GW mitjançant làsers que controlen el moviment dels miralls suspesos als observatoris [LIGO](#), [Virgo](#) i [KAGRA](#), així com a l'observatori [GEO600](#). Tenir més d'un detector GW observant simultàniament és un gran avantatge per descartar senyals GW falsos. Si un GW real passa per un detector, s'esperen empremtes similars en diferents detectors distribuïts per la Terra en moments lleugerament diferents.

Quan es produeix un FRB en un magnetar conegut, cerquem les dades de GW per a possibles homòlegs de GW del senyal electromagnètic observat durant aquest temps. Els FRB produïts a partir del magnetar galàctic SGR 1935+2154 es van produir en moments en què els observatoris LIGO i Virgo no estaven en funcionament. Afortunadament, GEO600, tot i que no era tan sensible com LIGO i Virgo, va funcionar durant tres dels quatre FRB de SGR 1935+2154 i va recollir dades útils de GW.

Aquesta configuració d'un únic detector planteja alguns reptes. En primer lloc, distingir els senyals reals del soroll es fa més complex, tal com s'ha explicat anteriorment. En segon lloc, no poder combinar dades de diversos observatoris de GW fa que sigui més difícil centrar-se en la secció de cel particular d'on prové el FRB. En tercer lloc, la sensibilitat de GEO600 és inferior a la dels detectors LIGO i Virgo, la qual cosa pot fer que els GW en el rang de freqüència inferior a 1 kHz siguin indetectables. Afortunadament, els models teòrics prediuen que qualsevol GW produït per oscil·lacions ràpides a l'interior del magnetar probablement seria a altes freqüències (1-3 kHz), on GEO600 té la seva millor sensibilitat.

A diferència del cas de les fusions de forats negres binaris, no sabem la forma exacta dels senyals GW esperats. Per tant, recorrem a "formes d'ona" genèriques que representen la nostra millor conjectura sobre com poden ser. Mantenim la nostra cerca "mínimament modelada", el que significa que permet una mica de marge per detectar un senyal encara que aquest no coincideixi precisament amb les formes d'ona teòriques. Hem utilitzat dos paquets d'anàlisi de programari diferents, un per a senyals GW curts de menys d'un segon i un altre per a senyals més llargs d'entre un i deu segons, i hem cercat senyals GW durant els FRB i els esdeveniments de raigs X circumdants de SGR 1935+2154.

RESULTATS I PERSPECTIVES DE FUTUR

Fins i tot tenint en compte el fet que SGR 1935+2154 és la font més propera de FRB (fins ara), no vam detectar cap GW associat amb els FRB. Per tal de determinar la sensibilitat del nostre anàlisi, vam simular dades artificials que representaven unes GW de propietats plausibles i vam observar l'amplitud (quant "fort") amb que aquestes GW simulades es podien detectar amb la nostra cerca. Després vam utilitzar aquestes amplituds per determinar els límits superiors de l'energia d'emissió de GW: qualsevol senyal hauria de ser menys energètic que el nostre límit superior per romandre indetectable. Aquests límits milloren els límits superiors existents, establerts per la LVK en una anàlisi de FRB a partir del 2019, fins a 4 ordres de magnitud. També millorem lleugerament les restriccions sobre la relació entre l'energia alliberada en GW i l'alliberada en ones de ràdio durant el FRB.

Per a més informació sobre aquestes figures i com es van produir, llegiu la [preimpresió](#) gratuïta.

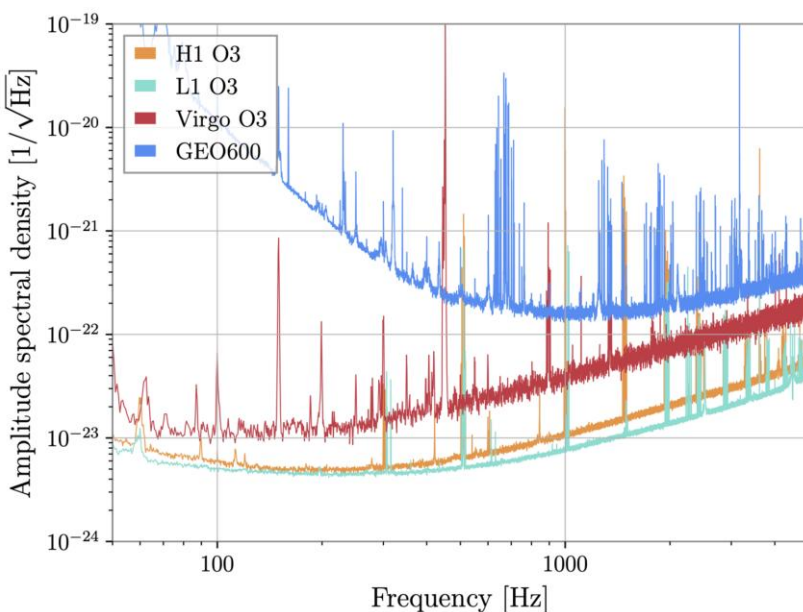


Figura 2: Corbes de sensibilitat de LIGO (taronja, verd blau) i Virgo (vermell) en comparació a GEO600 (blau), en funció de la freqüència de GW. Com més avall arribi la corba, més sensible serà el detector a aquella freqüència.

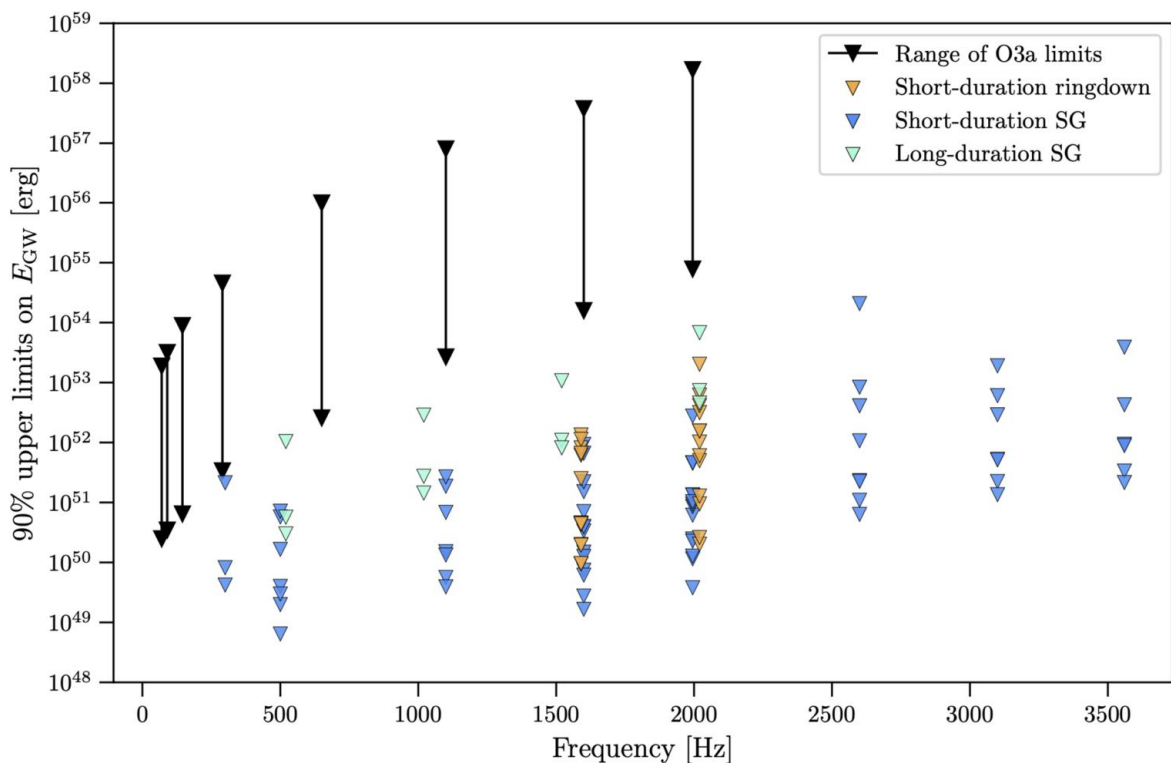


Figura 3: Límits superiors a l'energia de GW alliberada durant FRBs. Els nostres nous límits, a diverses freqüències i models, són representats en triangles acolorits. Els intervals de límits previs són representats amb fletxes negres. Els nostres nous límits són significativament més restrictius.

Totes les prediccions existents quant a l'energia alliberada en GWs acompanyant FRBs són inferiors als nostres límits superiors. Per tant, els nostres límits més recents romanen no suficientment restrictius per tal de seleccionar entre els diferents models teòrics que prediuen una connexió entre FRBs i GWs en magnetars. Independentment, aquests límits restringeixen les possibles maneres en què les emissions de GW es poden vincular amb FRB, ajudant els teòrics en la seva recerca de models de FRB millorats.

Finalment, com que els detectors de GW de LVK romandran en mode d'observació fins a mitjans de 2025, si SGR 1935+2154 (o fins i tot un altre magnetar galàctic) torna a produir FRB, podrem buscar GWs coincidents amb detectors més sensibles, donant-nos una altra oportunitat per entendre millor aquests fenòmens astrofísics extrems.

DESCOBREIX MÉS:

Visita les nostres pàgines web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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

Llegiu una preimpresió gratuïta de l'article científic complet [aquí](#) o a arXiv.org.

Traducció al català per Maria Rosselló i Arnau Montava (a partir de la versió original en anglès a <https://ligo.org/science-summaries/geogalacticfrbs/>).