

ABSENȚA UNDELOR GRAVITAȚIONALE CONTINUE ÎN DATELE DIN O4A PROVENITE DE LA 45 DE PULSARI CUNOSCUȚI

Colaborarea LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) a efectuat recent o nouă analiză cu scopul de a detecta unde gravitaționale continue (CW - continuous waves în limba engleză) extrem de slabe provenite de la stele neutronice. Această analiză a datelor din prima parte a celui de-al patrulea ciclu de observare (O4a) reprezintă un alt pas înainte în încercarea de a observa unde gravitaționale emise de obiecte stabile, izolate, mai degrabă decât emise de evenimente dramatice precum ciocnirile de găuri negre. Undele continue sunt semnale slabe, persistente, aproape periodice, care ne-ar putea oferi informații despre interiorul stelelor neutronice, cele mai dense obiecte din univers în afară de găurile negre.

CE SUNT UNDELE CONTINUE, ȘI DE CE SUNT IMPORTANTE?

Undele gravitaționale sunt ondulații în spațiu-timp cauzate de obiecte masive în mișcare. Până în acest moment, colaborarea LVK a publicat detecția a aproximativ 100 de semnale de unde gravitaționale, în mare parte provenite din coliziuni ale unor găuri negre. Cu toate acestea, spre deosebire de aceste evenimente explozive, se crede că undele continue provin de la stele neutronice individuale cu mici „imperfecțiuni”. Stelele neutronice sunt rămășițe de stele masive care au explodat sub formă de supernovă, lăsând în urmă un nucleu incredibil de dens care poate cântări mai mult decât Soarele nostru, dar comprimat într-o sferă cu raza de doar 20 de kilometri. Dacă una dintre aceste stele neutronice are chiar și doar o mică denivelare sau deformare, ea ar putea elibera unde gravitaționale periodice slabe în timp ce se învâрте. Detectarea acestor unde ar fi o descoperire majoră, deoarece ar permite oamenilor de știință să studieze „rigiditatea” și structura stelelor neutronice, dezvăluind noi informații despre materie în condiții extreme.

DE CE PULSARI?

Pulsarii sunt ținte deosebit de interesante pentru căutările de unde continue. Sunt stele neutronice cu câmpuri magnetice puternice care provoacă emisii de fascicule de unde electromagnetice în diferite benzi de frecvență (radio, raze X, raze gama). Pe măsură ce se rotesc, aceste fascicule mătură spațiul ca un far cosmic, creând impulsuri de fiecare dată când ajung la noi pe Pământ. Observațiile electromagnetice ale pulsarilor de la observatoare diferite oferă informații precise despre poziția lor pe cer, rata de rotație și evoluția ei în timp. Aceste informații fac ca pulsarii să fie candidați ideali pentru căutările de unde continue, deoarece ne putem concentra exact pe intervalul de frecvență în care acestea ar putea apărea. În această analiză, oamenii de știință din LVK s-au concentrat pe 45 de pulsari cunoscuți (vezi **Figura 2**) pentru a căuta emisia lor slabă și continuă. Echipa a luat în considerare două modele teoretice diferite de emisie care prezic emiterea de unde continue la o frecvență dublă față de frecvența de rotație (model armonic unic) sau și la frecvența de rotație, și la dublul acesteia (model de emisie armonică duală).

CUM FUNCȚIONEAZĂ CĂUTAREA

Colaborarea LVK folosește unele dintre cele mai sensibile instrumente din lume pentru a căuta unde gravitaționale. Aceste detectoare, care sunt interferometre sofisticate, pot detecta distorsiuni incredibil de mici în spațiu-timp, dar chiar și cu sensibilitatea lor, observarea undelor continue este extrem de dificilă. Undele continue sunt atât de slabe încât se presupune că sunt îngropate sub zgomotul de fond, așa că oamenii de știință trebuie să se bazeze pe algoritmi și tehnici de analiză a datelor complexe pentru a săpa adânc în zgomot.

Echipa a folosit informații detaliate de la diferite observatoare electromagnetice despre poziția și rotația fiecărui pulsar. Aceasta se numește astronomie multi-messenger: undele electromagnetice informează căutările de unde gravitaționale continue pentru a îmbunătăți șansa de detectare prin reglarea căutării în mod corespunzător caracteristicilor unice ale fiecărui pulsar.



Figura 1: Nebuloasa Crabului așa cum este văzută prin filtrul de raze X și prin filtrul vizual. Pulsarul Crab este în centrul imaginii. Credit imagine : raze X – NASA/CXC/ASU/J. Hester et al.; vizual – NASA/HST/ASU/J. Hester et al.

AFLĂ MAI MULT:

Vizitează www.ligo.org
paginile www.virgo-gw.eu
noastre: gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/



Aceste *căutări direcționate (targeted searches)* sunt diferite de căutările „pe tot cerul – all-sky”, în care oamenii de știință caută orice semnal pe întreg cerul, fără să știe de unde ar putea veni. Aici, folosind pulsari cunoscuți ca ghiduri, cercetătorii sunt capabili să se concentreze asupra intervalelor de frecvență în care este posibil să existe unde continue. Căutările direcționate sunt cele mai sensibile analize, dar depind foarte mult de modelul de emisie luat în considerare, adică de mecanismul fizic care generează emisia undelor continue care fixează parametrii semnalelor așteptate.

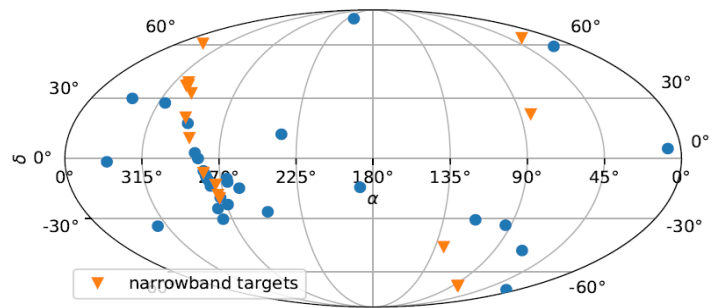


Figura 2: Localizarea pe cer în coordonatele ecuatoriale ale țintelor analizate.

CE AM DESCOPERIT?

Din analiza datelor O4a, LVK nu a găsit niciun semnal decisiv de unde continue provenind de la cei 45 de pulsari analizați. Cu toate acestea, descoperirile noastre sunt încă importante. Analizând datele, am reușit să stabilim noi limite cu privire la cât de mari ar putea fi deformațiile ecuatoriale, sau „elipticitatea” acestor stele neutronice, fără a emite unde gravitaționale continue detectabile (așa-numitele limite superioare, vezi **Figura 3**). Aceasta înseamnă că oamenii de știință au acum estimări mai precise cu privire la deformările maxime pe care le pot avea acești pulsari, chiar dacă denivelările nu au fost suficiente de mari pentru a produce un semnal detectabil. Pentru pulsarul luminos J0437-4715 din apropiere cu perioada de milisecunde, cea mai puternică constrângere a elipticității este de aproximativ 9 părți pe miliard, corespunzând unei deformări de mai puțin de 100 de microni la o rază a stelei neutronice de 10 km!

CE URMEAZĂ?

Deși semnalele de unde continue rămân insesizabile, fiecare căutare împinge domeniul mai aproape de o viitoare detecție. Fiecare îmbunătățire a sensibilității crește șansa ca într-o zi să observăm un semnal și, odată cu acesta, un nou mod de a studia universul. LVK va continua să-și perfecționeze tehnicile și să îmbunătățească sensibilitatea detectoarelor pentru viitoarele observații, aducându-ne mai aproape de ziua în care am putea descoperi un semnal de unde continue. Pe parcurs, chiar și non-detețiile pot fi foarte interesante, deoarece continuă să ne îmbunătățească cunoștințele despre deformarea maximă posibilă a stelelor neutronice.

Căutarea de unde continue este un proiect de durată și fiecare rundă de cercetare ne aduce mai aproape de a ne conecta la acea emisie slabă și constantă a stelelor neutronice. Când sunt detectate, aceste unde ar putea oferi un flux constant de informații despre unele dintre cele mai misterioase obiecte din univers, ajutându-ne să răspundem la întrebări monumentale despre ce se întâmplă cu materia la densități extreme.

AFLĂ MAI MULT :

Vizitează paginile noastre:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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

Citiți un preprint gratuit al articolului științific complet [aici](#) sau la arXiv.org.

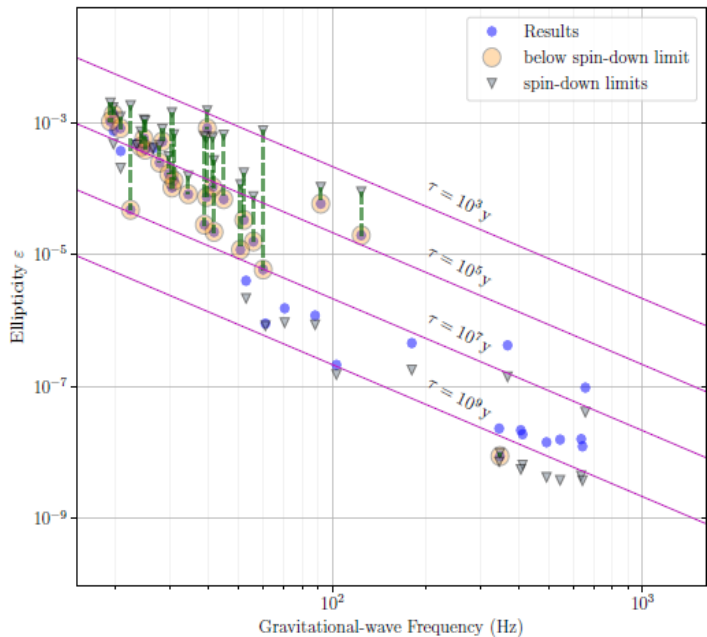


Figura 3: *Cercuri albastre*: limita superioară experimentală a elipticității fiecărui pulsar în funcție de frecvența de unde continue presupusă. *Triunghiuri gri*: limita superioară teoretică a elipticității presupunând că încetinirea rotației pulsarilor se datorează complet emisiei de unde gravitaționale continue.

GLOSAR

Unde gravitaționale continue: Unde gravitaționale persistente, care se crede că provin de la stele neutronice în rotație cu deformații minore.

Stele neutronice: Rămășițe extrem de dense ale stelelor masive care au explodat sub formă de supernovă.

Pulsar: Un tip de stea neutronică cu câmpuri magnetice puternice care emite fascicule regulate de radiații electromagnetice pe măsură ce se rotește, creând un efect de pulsație atunci când este observat de pe Pământ.

Elipticitate: O modalitate de măsurare a abaterii unei stele neutronice de la o sferă perfectă, ceea ce ar putea duce la emisia de unde continue.