

GW231123: LA BINÀRIA DE FORATS NEGRES MÉS MASSIVA DETECTADA MITJANÇANT ONES GRAVITACIONALS

El 23 de novembre de 2023, a les 13:54:30 UTC, la col·laboració LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) va detectar GW231123, un senyal d'ones gravitacionals probablement causat per la fusió de dos forats negres amb la massa combinada més gran que la col·laboració LVK ha observat mai. Aquests forats negres haurien estat girant a una velocitat molt elevada, i les seves masses individuals semblen situar-se en un rang que desafia les teories existents sobre com evolucionen i acaben la seva vida les estrelles massives.

DETECTAR EL SENYAL

Aquesta ona gravitacional va ser observada pels dos detectors de LIGO, a Hanford i a Livingston, durant la primera part del quart període d'observació de la col·laboració LVK (O4a). La coherència entre els dos observatoris va ser essencial per poder confirmar la detecció amb seguretat. Tal com es mostra a la **Figura 1**, el senyal va durar aproximadament una dècimagal de segon, però es va destacar clarament, essent unes **20 vegades més intens** que el soroll típic dels detectors. Per assegurar-nos que no es tractava d'una fluctuació aleatòria de les dades, hem dut a terme comprovacions estadístiques rigoroses. A través de tècniques que simulen milers d'anys de dades falses, hem trobat que la probabilitat que el soroll aleatori imités GW231123 és inferior a una vegada cada 10.000 anys! Això ens dóna una confiança extrema en l'origen no terrestre del senyal i, per tant, en la realitat d'aquesta ona gravitacional.

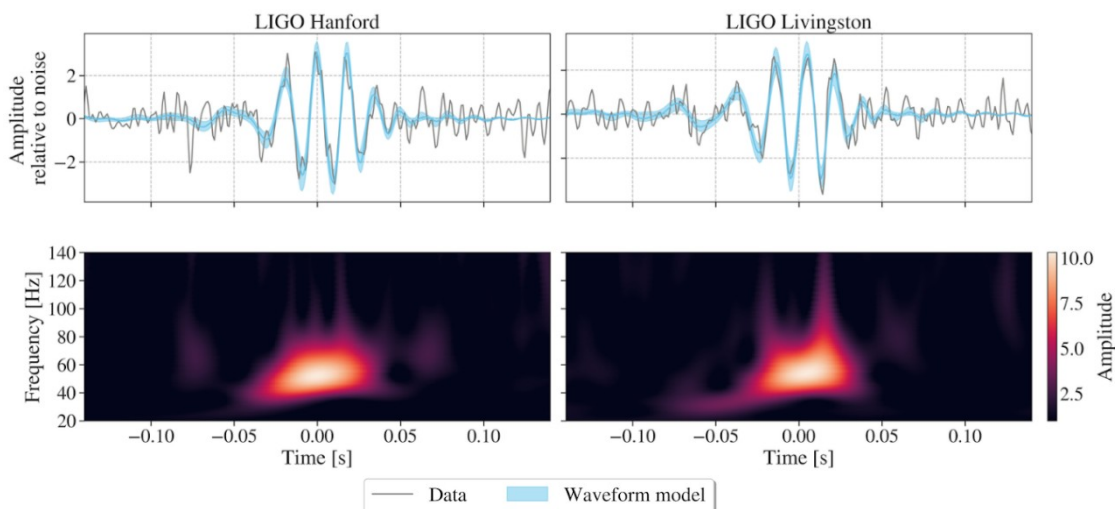


Figura 1: Senyal GW231123 en les dades dels detectors LIGO de Hanford (esquerra) i Livingston (dreta). Els panells superiors mostren l'amplitud de les dades al llarg del temps (línies grises). La banda blava ombrejada mostra la nostra estimació del senyal real. Els panells inferiors són espectrograms, també coneguts com a mapes temps-freqüència, que mostren l'amplitud del senyal al llarg del temps (eix horitzontal) a través de les diferents freqüències (eix vertical). Els colors més brillants representen un senyal més intens.

L'ORIGEN DEL SENYAL

Les dades suggereixen fermament que el senyal prové de la fusió violenta de dos forats negres. Per aprendre més d'aquests forats negres — com de massius eren i com de ràpid giraven — hem emprat diversos models basats en la teoria de la relativitat general d'Einstein per simular com seria aquest senyal per a diferents binàries de forats negres.

Mitjançant la comparació de les dades amb aquests models, hem trobat que aquests forats negres pesen aproximadament 137 i 103 vegades la massa del Sol, respectivament. Si tenim en compte totes les incerteses, la seva massa total probablement es troba entre 190 i 265 masses solars, fet pel qual destrona GW190521 com la binària de forats negres més massiva observada fins ara.

APRÈN MÉS:

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



Com si això no fos suficientment impressionant, probablement els forats negres giraven gairebé tan ràpid com és teòricament possible, **fet que converteix GW231123 no només en la binària de forats negres més massiva, sinó també en la que presenta la rotació més ràpida detectada amb seguretat mitjançant ones gravitacionals fins ara.**

La fusió va donar lloc a un forat negre amb una massa que probablement es troba entre 182 i 251 masses solars. Això el situa en una categoria poc habitual de forats negres anomenats *forats negres de massa intermèdia*—més massius que els formats per col·lapse estel·lar, però molt més lleugers que els forats negres supermassius que s'amaguen als centres de les galàxies. Les restes de la fusió de GW231123 i GW190521 destaquen com les deteccions mitjançant ones gravitacionals més clares d'aquests forats negres de mida mitjana.

PER QUÈ SÓN TAN INTERESSANTS AQUESTES PROPIETATS?

Les teories actuals d'evolució estel·lar suggereixen que els forats negres amb masses entre aproximadament 60 i 130 masses solars haurien de ser estranys o inexistents. Se pensa que aquest rang de masses “prohibit” és el resultat de certs tipus especials d'explosions que, o bé desintegren completament estrelles massives (supernoves per inestabilitat de parells), o bé expulsen una part significativa de la seva massa abans del col·lapse (supernoves pulsacionals per inestabilitat de parells), fet que impedeix la formació d'un forat negre massiu.

Tanmateix, GW231123 posa en qüestió aquesta expectativa. El forat negre més lleuger es troba gairebé amb tota seguretat dins la bretxa de masses, amb un 83% de probabilitat de situar-s'hi, mentre que el forat negre més massiu té en un 26% de probabilitat. Això suggereix que l'evolució estel·lar tradicional podria no explicar completament els seus orígens.

Una possibilitat fascinant és que un o ambdós forats negres s'hagin pogut formar com a resultat de fusions prèvies de forats negres. Això explicaria les seves masses i velocitats de rotació tan elevades, i suggeriria que varen existir en un entorn astrofísic extremadament dens, com ara un cúmul estel·lar nuclear o un nucli galàctic actiu, on les col·lisions entre forats negres són més probables. Aquests entorns densos també poden donar lloc a forats negres que orbiten l'un al voltant de l'altre en trajectòries més allargades o excèntriques. Tanmateix, per tal de limitar la complexitat, els nostres models actuals assumeixen que els forats negres orbiten en trajectòries gairebé esfèriques que es van encongint gradualment a mesura que emeten ones gravitacionals. Però si les òrbites són altament excèntriques, especialment just abans de la fusió, això podria afectar les formes d'ona gravitacional emeses d'una manera que els nostres models no capten. En el cas de GW231123, aquesta possibilitat continua oberta i calen models més avançats per poder-la posar a prova.

Escenaris alternatius que podrien haver produït un senyal com aquest, com per exemple l'efecte de lent gravitacional, forats negres primordials, explosions de supernoves, fusions d'estrelles de bosons, o cordes còsmiques, són molt menys probables a nivell astrofísic que les que s'han considerat aquí.

ELS MOMENTS FINALS DE LA FUSIÓ

Per a la majoria de fusions de forats negres que observa la col·laboració LVK—prop de 300 en el moment d'escriure aquest resum científic—els detectors són més sensibles a la part inicial del senyal, quan els forats negres orbiten l'un cap a l'altre fins a fusionar-se. Tanmateix, gràcies a la seva gran massa, GW231123 ens ha ofert la visió més nítida del seu gran final: la fusió i la fase de relaxació, quan el nou forat negre format emet energia en forma d'ones gravitacionals, oscil·lant fins a relaxar-se en un estat estable, de manera semblant a una campana que ressona fins que s'esvaeix en silenci.

Hem comparat aquesta part final del senyal amb les prediccions de la relativitat general sobre com es relaxa un forat negre, i hem trobat una forta concordança entre la teoria i les nostres dades. Tanmateix, les propietats extremes de GW231123 porten els nostres models al límit, i deixen alguns detalls subtils sense explicar alhora que assenyalen àrees on es poden millorar les nostres formes d'ona.

CONCLUSIÓ

Fa uns anys, en el nostre resum de GW190521, vàrem dir que els rècords estan fets per ser superats, i GW231123 ho ha aconseguit. Amb unes propietats que podrien incloure forats negres dins del rang de masses prohibit i rotacions properes al límit teòric, aquest esdeveniment destaca per ser alhora extraordinari i difícil d'interpretar. Ens empeny a explorar vies alternatives per a la formació de forats negres més enllà de l'evolució estel·lar tradicional i posa de manifest les limitacions dels nostres models actuals de formes d'ona gravitacional. A mesura que continuem escoltant l'univers a través de les ones gravitacionals, GW231123 és un recordatori poderós que el cosmos encara amaga moltes sorpreses i que tot just començam a descobrir-les.

MÉS INFORMACIÓ:

Visita les nostres webs:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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

Llegeix [aquí](#) una preimpressió gratuït de l'article científic complet.

La publicació de dades del Centre de Ciència Oberta d'Ondes Gravitacionals per a GW231123 està disponible [aquí](#).

Article traduït per Maria Antònia Ferrer i revisat per Antoni Ramos.