

GW250114: CARRILLÓN CÓSMICO DO CAOS

No 10º aniversario da detección das ondas gravitacionais, as [colaboracións LIGO, Virgo e KAGRA \(LVK\)](#) informan dun novo sinal procedente da fusión de buratos negros: [GW150914](#). Os buratos negros eran sorprendentemente semellantes (en masas e distancia) aos observados na primeira detección de LIGO, en 2015: GW150914. Pero, despois de 10 anos de melloras tanto na rede global de detectores de ondas gravitacionais como nos métodos empregados para analizar os seus datos, os investigadores de LVK foron quen de “escoitar” GW250114 con tres veces máis claridade ca aquela primeira detección pioneira. Con esta observación sen precedentes, os investigadores de LVK confirmaron que os buratos negros só poden medrar en tamaño e que, cando son perturbados, soan como unha campá co “son” predito por Einstein.

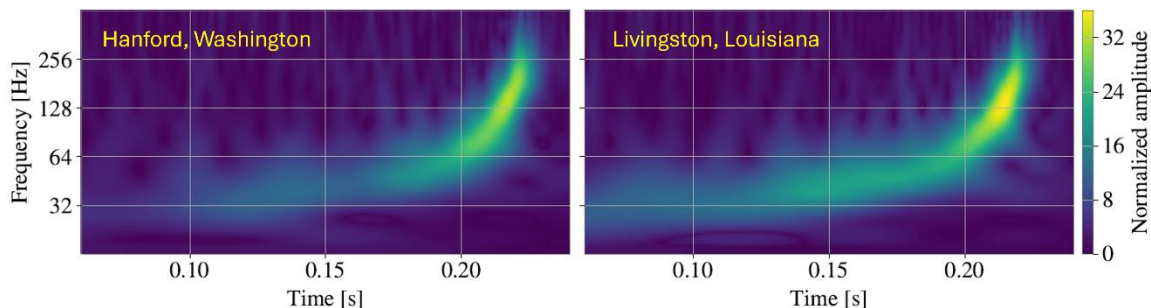


Figura 1: (Adaptado da Figura 1 da nosa [publicación](#)). O evento de onda gravitacional GW250114 observado polos detectores de LIGO Hanford (panel esquerdo) e LIGO Livingston (panel dereito). As dúas gráficas amosan como variou a [deformación](#) espazo-temporal producida polo evento en cada detector LIGO en función do tempo (en segundos) e da frecuencia (en hercios, ou número de ciclos de onda por segundo). Ambas gráficas mostran a frecuencia de GW250114 ascendendo bruscamente, nun patrón semellante a un [asubío](#), desde aproximadamente 30 Hz ata 250 Hz ao longo de dúas décimas de segundo.

Hai máis de 50 anos, Stephen Hawking e Jacob Bekenstein conxecturaron que a [área do horizonte de sucesos dun burato negro](#) codifica a súa [entropía](#). A entropía é unha medida da desorde, ou caos¹, dun sistema que só pode aumentar co tempo, como se sabe dende a época das máquinas de vapor. Se a súa conxectura é certa, isto significa que as áreas dos buratos negros só poden medrar. Isto fascinou á comunidade física porque, segundo a teoría da gravidade de Einstein, a [Relatividade Xeral](#), os buratos negros deberían ser obxectos extremadamente sinxelos, descritos unicamente por dous números²: a súa masa e o seu [espin](#). Porén, os achados de Hawking e Bekenstein suxiren que os buratos negros son á vez simples e, ao mesmo tempo, codifican enormes cantidades de caos. Esta dualidade está na base dunha conexión profunda entre o espazo-tempo e a [mecánica cuántica](#).

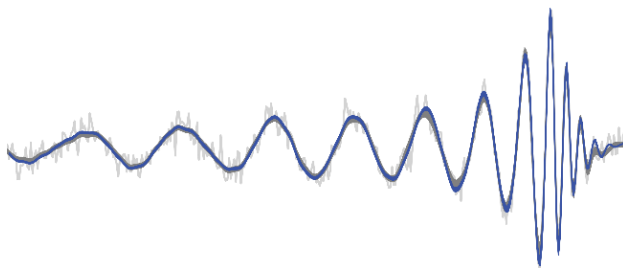


Figura 2: Esquema que ilustra a excelente consistencia entre os datos (amosados en gris claro) observados polo detector de LIGO Livingston no momento da detección de GW250114 e o noso mellor modelo para as ondas gravitacionais producidas pola colisión dos dous buratos negros (amosado en azul escuro). Tamén se inclúe a banda gris escura, que mostra unha reconstrución da forma de onda sen asumir que o sinal foi producido por dous buratos negros. O feito de que a banda gris escura sexa consistente coa banda azul escura indica que o noso modelo está a describir con precisión o sinal.

MÁIS INFORMACIÓN:

Visita as www.ligo.org
 nosas www.virgo-gw.eu
 páxinas web: gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/



1. En sentido estrito, en matemáticas o termo caos refírese a outro concepto distinto da noción de desorde, mais os termos adoitan usarse indistintamente en descriucións informais – véxase, por exemplo, [aquí](#).

2. Tecnicamente, os buratos negros tamén poden ter unha carga eléctrica neta, pero espérase que os buratos negros formados a partir de estrelas teñan unha carga eléctrica neta desprezable.

GW250114 pon a proba ambas estas facetas únicas dos buratos negros: que son obxectos sinxelos e que a súa entropía sempre aumenta. Ademais, a claridade e forza do sinal de GW250114 permite a caracterización máis precisa ata agora do “soar” dun burato negro.

Cando un burato negro en rotación é perturbado (como ocorre cando nace durante a fusión de dous buratos negros proxenitores), vibra coma unha campá ou un tambor, emitindo un “son” gravitacional único que se extingue rapidamente. Suponse que o seu soar se comporta como a idealización matemática predita por Roy Kerr: un [burato negro que xira](#) — coñecido coloquialmente como burato negro de Kerr. Para probar esta hipótese, os investigadores de LVK empregaron o sinal de GW250114 para illar con coidado o “son” do burato negro resultante da colisión (é dicir, a súa emisión de ondas gravitacionais) e puideron determinar que coincidía cos “sons” dun burato negro de Kerr.

Para comprender o soar dun burato negro, imaxina instrumentos musicais. Cada instrumento ten un son único determinado pola súa forma e polas súas propiedades materiais: unha campá soa de maneira diferente ca un tambor ou unha guitarra. Pero o son tamén depende de como se perturbe o instrumento: golpear un tambor cun pau produce un son distinto a facelo cunha baqueta de escobilla. Os buratos negros de Kerr só poden emitir sons de certas frecuencias e duracións, determinadas unicamente pola súa masa e pola súa velocidade de rotación. Unha perturbación fai que se emitan algúns deses sons, aínda que non necesariamente todos. Se se miden máis dun, poden compararse entre si: corresponden ao mesmo burato negro de Kerr? Os investigadores de LVK puideron determinar con alta confianza, por primeira vez, que polo menos dous dos sons preditos do burato negro foron emitidos polo burato negro final, e que as súas frecuencias e tempos de decaemento estaban de acordo coas expectativas para un burato negro de Kerr. O remanente de GW250114 é, efectivamente, un burato negro sinxelo descrito unicamente pola súa masa e polo seu xiro.

Ao mesmo tempo, os investigadores de LVK confirmaron que a área dese burato negro remanente é maior cá suma das áreas dos dous buratos negros iniciais (véxase a **Figura 3**). O soar do burato negro final contén toda a información necesaria para medir a súa área. Os buratos negros iniciais, aínda que non soan, tamén emiten o seu propio sinal gravitacional. Mentres orbitan un arredor do outro, perden enerxía en forma de ondas gravitacionais e “caen” un cara ao outro. Os investigadores de LVK empregaron o sinal de GW250114 previo á colisión para medir as áreas dos buratos negros iniciais. Estas medidas completamente independentes confirmaron que a fusión de GW250114 efectivamente incrementou a entropía do Universo.

A detección de GW250114 foi posible grazas ao traballo de décadas de milleiros de científicos para mellorar os detectores de ondas gravitacionais, comprender como deberían soar os buratos negros e idear xeitos enxeñosos de “escoitar” ese soar nos datos. No seu décimo aniversario, a ciencia das ondas gravitacionais está en pleno auxe e continúa ofrecendo un xeito completamente novo de explorar o noso universo – e probablemente con moitas máis sorpresas por vir.

MÁIS INFORMACIÓN:

Visita as nosas páxinas web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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

Le o artigo na revista Physical Review Letters [aquí](#).

Le o texto prelinar do artigo científico complete [aquí](#).

Os datos do *Gravitational-Wave Open Science Centre* para GW250114 dispoñibles [aquí](#).

Traducido ao galego por Sofía Bussières López a partir da versión orixinal en inglés.

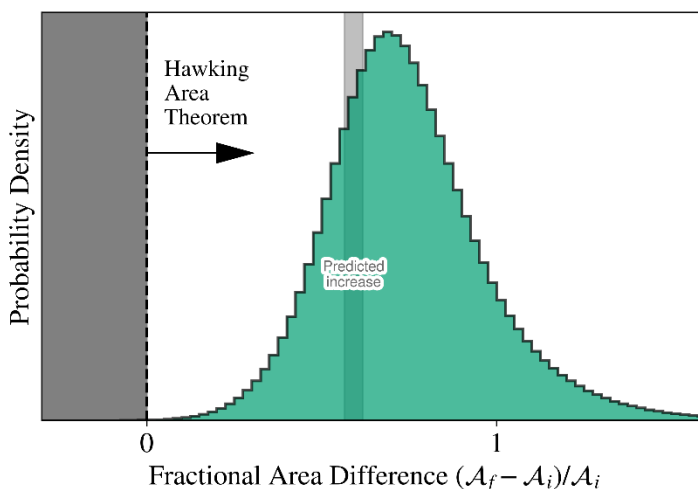


Figura 3: (Adaptado da Figura 5 da nosa [publicación](#).) Distribución de probabilidade para a diferenza fraccional de área de GW250114, igual á área A_f do burato negro final menos a suma das áreas dos buratos negros iniciais A_i , dividida por A_i como normalización. Así, segundo o Teorema da Área de Hawking, a diferenza fraccional de área debería situarse á dereita da rexión sombreada en gris escuro – é dicir, á dereita da liña vertical de trazos que corresponde a unha diferenza fraccional de área igual a cero, cando $A_f = A_i$. Pódese ver que a distribución de probabilidade desfavorece fortemente os valores da diferenza fraccional de área menores que cero; isto é consistente co Teorema da Área de Hawking. O pico da distribución de probabilidade tamén concorda ben coa banda vertical gris clara, marcada como “Incremento predito”, que indica a diferenza fraccional de área predita pola relatividade xeral, correspondente a un incremento da área dun 65%.