

GW231123: O SISTEMA BINÁRIO DE BURACOS NEGROS MAIS MASSIVO DETETADO ATRAVÉS DE ONDAS GRAVITACIONAIS

No dia 23 de novembro de 2023, às 13:54:30 UTC, a colaboração LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) detetou GW231123, um sinal de ondas gravitacionais provavelmente causado pela fusão de dois buracos negros com a maior massa total que a colaboração LVK alguma vez observou. Estes buracos negros estariam a [girar](#) incrivelmente rápido e as suas massas individuais parecem situar-se num intervalo que desafia as teorias existentes sobre a forma como as estrelas maciças evoluem e terminam as suas vidas.

DETEÇÃO DO SINAL

Esta onda gravitacional foi observada pelos dois detetores avançados de LIGO em Hanford e Livingston durante a primeira parte do quarto [período de observação](#) de LVK (O4a). A coerência entre os dois observatórios foi essencial para realizar uma deteção com confiança. Como mostra a **Figura 1**, o sinal durou cerca de um décimo de segundo, mas destacou-se claramente, cerca de **20 vezes mais alto** que o ruído típico do detetor. Para garantir que não se tratava de uma anomalia aleatória nos dados, efetuámos verificações estatísticas cuidadosas. Usando técnicas que simulam milhares de anos de dados falsos, descobrimos que a probabilidade de um ruído aleatório imitar o GW231123 é inferior a uma vez em 10.000 anos! Este facto dá-nos *extrema* confiança na origem não-terrestre do sinal e, portanto, na veracidade deste sinal de ondas gravitacionais.

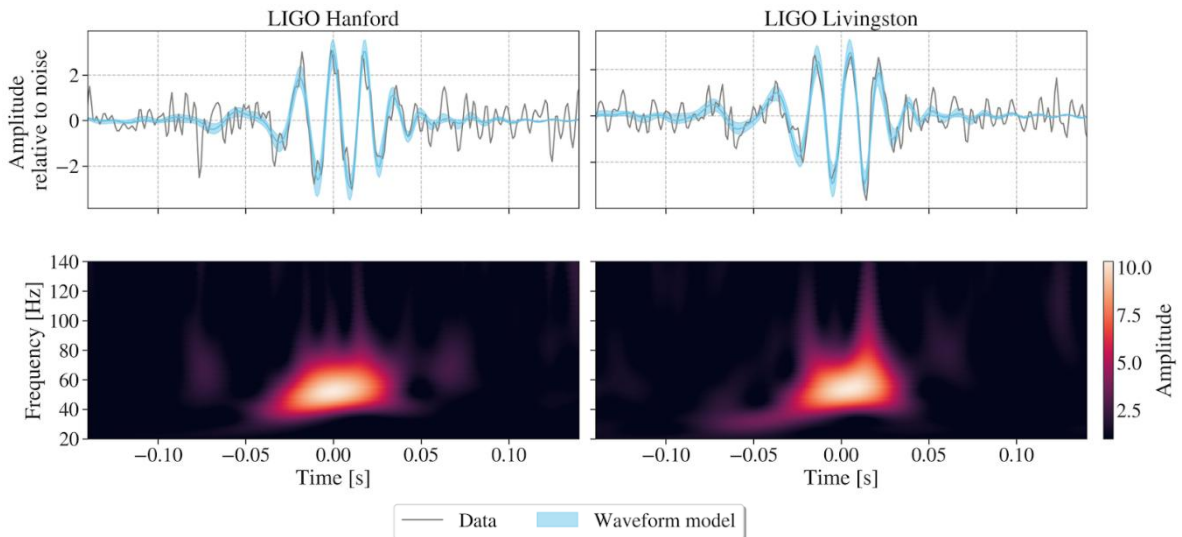


Figura 1: Sinal GW231123 nos dados dos detetores LIGO Hanford (esquerda) e Livingston (direita). Os painéis superiores mostram a amplitude dos dados ao longo do tempo (linhas cinzentas). A zona azul sombreada mostra a nossa estimativa do sinal verdadeiro. Os painéis inferiores são espectrogramas, também conhecidos como mapas de tempo-frequência, que mostram a amplitude do sinal ao longo do tempo (eixo horizontal) e através da frequência (eixo vertical). As cores mais brilhantes representam um sinal mais forte.

A FONTE POR DETRÁS DO SINAL

Os dados sugerem fortemente que este sinal resultou da violenta [fusão de dois buracos negros](#). Para saber mais sobre estes buracos negros – como a sua massa e quão rápido giravam – utilizámos vários modelos baseados na [teoria da relatividade geral de Einstein](#) para simular o aspeto que este sinal teria para diferentes pares de buracos negros.

Comparando os dados com estes modelos, descobrimos que estes buracos negros pesavam aproximadamente 137 e 103 vezes a [massa do Sol](#), respetivamente. Tendo em conta todas as incertezas, a sua massa total situava-se entre 190 e 265 massas solares, destronando o [GW190521](#) como o buraco de negro mais massivo observado até à data.

PARA SABER MAIS:

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



Como se isso não fosse suficientemente impressionante, ambos os buracos negros estavam provavelmente a girar quase tão depressa quanto os buracos negros podem teoricamente girar, **o que faz do GW231123 não só o mais massivo mas também o sistema de buracos negros com rotação mais rápida já detetado com confiança através de ondas gravitacionais.**

A fusão produziu um buraco negro com uma massa provavelmente entre 182 e 251 massas solares. Isto coloca-o numa categoria rara de buracos negros chamada [buracos negros de massa intermédia](#)—mais pesados do que os formados pelo colapso estelar, mas muito mais leves que os buracos negros supermassivos que se escondem nos centros das galáxias. Os restos da fusão do GW231123 e do GW190521 destacam-se como as mais claras deteções de ondas gravitacionais destes esquivos buracos negros de tamanho médio.

POR QUE É QUE ESTAS PROPRIEDADES SÃO TÃO INTERESSANTES?

As teorias atuais sobre a evolução estelar sugerem que os buracos negros com massas entre aproximadamente 60 e 130 massas solares devem ser raros ou inexistentes. Pensa-se que este intervalo de massas “proibido”, conhecido como o [hiato de massa superior dos buracos negros](#), resulta de tipos especiais de explosões que ou destroem estrelas pesadas ([supernovas por instabilidade de pares](#)) ou ejetam uma porção significativa da sua massa antes do colapso ([supernovas por instabilidade de pares pulsacionais](#)), impedindo a formação de um buraco negro pesado.

No entanto, o GW231123 questiona esta expectativa. O buraco negro mais leve está quase de certeza dentro do hiato de massa superior, com 83% de probabilidade de estar dentro dele, enquanto o buraco negro mais pesado tem 26% de probabilidade. Este facto sugere que a evolução estelar tradicional poderá não explicar totalmente as suas origens.

Uma possibilidade interessante é que um ou ambos os buracos negros se possam ter formado como resultado de anteriores fusões de buracos negros. Isto explicaria as suas elevadas massas e spins estimados e sugeriria que tivessem vivido num ambiente astrofísico extremamente denso, tal como um [agregado estelar nuclear](#) ou um [núcleo galáctico activo](#), onde os buracos negros têm maior probabilidade de colidir. Estes ambientes densos podem também levar a que os buracos negros orbitem entre si em trajetórias mais alongadas ou [excêntricas](#). No entanto, para limitar a sua complexidade, os nossos modelos assumem atualmente que os buracos negros espiralam para o interior em órbitas quase esféricas que gradualmente diminuem à medida que emitem ondas gravitacionais. Mas se as órbitas forem altamente excêntricas, especialmente antes da fusão, isso pode afetar as formas de onda emitidas de maneiras não previstas pelos nossos modelos. Para o GW231123, esta possibilidade permanece em aberto e requer modelos mais avançados para ser testada.

Cenários alternativos que podem ter produzido um sinal como este, tais como [lentes gravitacionais](#), [buracos negros primordiais](#), [supernovas de colapso nuclear](#), [fusões de estrelas de bosões](#), e [cordas cósmicas](#), são astrofisicamente menos prováveis que do que os discutidos acima.

OS MOMENTOS FINAIS DA FUSÃO

Para a maioria das fusões de buracos negros que LVK observa—cerca de 300 na altura em que este resumo científico foi escrito—os detetores são mais sensíveis às partes iniciais do sinal, quando os buracos negros espiralam um em direção ao outro e acabam por se fundir. No entanto, devido à sua grande massa, o GW231123 forneceu-nos a melhor visão da sua cena final: a fusão e a fase de [relaxamento](#), quando o buraco negro recém-formado irradia energia através de ondas gravitacionais, vibrando e finalmente assentando num estado estável, tal como um sino a tocar até ao silêncio.

Comparámos esta parte final do sinal com as previsões da relatividade geral para a forma como um buraco negro relaxa, e encontramos uma forte concordância entre a teoria e os nossos dados. No entanto, as propriedades extremas do GW231123 levam os nossos modelos aos seus limites, deixando algumas características subtis por explicar e apontando para áreas onde as nossas formas de onda podem ser melhoradas.

CONCLUSÃO

Há alguns anos, no nosso [resumo do GW190521](#), dissemos que os recordes foram feitos para serem batidos, e o GW231123 fez exatamente isso. Com propriedades que podem incluir buracos negros no hiato de massa superior e rotações próximas do limite teórico, este acontecimento destaca-se ao mesmo tempo como extraordinário e de interpretação intrigante. Obriga-nos a explorar caminhos alternativos para a formação de buracos negros, para além da tradicional evolução estelar, e revela as limitações dos nossos atuais modelos de forma de onda. Enquanto continuamos a ouvir o universo através das ondas gravitacionais, o GW231123 é um potente aviso de que o cosmos ainda guarda muitas surpresas, e que nós estamos só a começar a descobri-las.

PARA SABER MAIS:

Visita as nossas páginas web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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

Lê uma pré-impressão do artigo científico [aqui](#)

Os dados relativos ao GW231123 foram publicados pelo Gravitational-Wave Open Science Centre [aqui](#)

Traduzido para o português por Tiago Fernandes e revisto por Inês Rainho a partir da versão original em inglês disponível [aqui](#)