

GW241011 E GW241110: UM PAR DE FUSÕES DE BURACOS NEGROS DE MASSAS DISTINTAS E EM RÁPIDA ROTAÇÃO DETETADAS ATRAVÉS DE ONDAS GRAVITACIONAIS

Durante os últimos meses de 2024, a [colaboração LIGO-Virgo-KAGRA \(LVK\)](#) detetou GW241011 e GW241110: dois eventos de [ondas gravitacionais](#) notavelmente semelhantes (e não apenas nos nomes). O primeiro do par, GW241011, foi detetado a 11 de outubro de 2024, às 23:38:34 UTC. Já GW241110 foi observado quase exatamente um mês depois, a 10 de novembro, às 12:41:23 UTC. Ambos os eventos correspondem a [binários de buracos negros](#) em rápida [rotação](#), e em ambos os casos os buracos negros têm massas distintas. Estas propriedades têm implicações importantes para a nossa compreensão da formação e evolução de binários de buracos negros, bem como para diversas áreas da física fundamental.

DETEÇÃO DOS SINAIS

Os detetores LIGO e Virgo identificaram ambos os eventos durante a segunda parte do quarto [período de observação](#) LIGO-Virgo-KAGRA (O4b). A **Figura 1** mostra a amplitude dos dados registados ao longo do tempo para esses eventos.

O evento GW241011 destacou-se de imediato, elevando-se muito acima do [ruído](#) típico em ambos os detetores. No [LIGO Hanford](#), o sinal foi cerca de 35 vezes mais forte do que o ruído de fundo, enquanto o [Virgo](#) o detetou com uma intensidade aproximadamente 9 vezes superior ao nível de ruído. O [LIGO Livingston](#) não estava a operar nesse momento. Usando algoritmos de pesquisa avançados e técnicas estatísticas, verificámos que a probabilidade de um ruído aleatório imitar este sinal é inferior a uma vez em 10^{26} anos, muito superior à [idade do Universo](#).

GW241110 foi detetado um mês depois, e desta vez todos os três detetores estavam em funcionamento. Embora o sinal tenha sido mais fraco do que o de GW241011, foi claramente visível em ambos os instrumentos LIGO, com o Virgo a registar um sinal mais tênue. O movimento do solo no detetor Livingston estava em níveis elevados, resultando em algum ruído de baixa frequência; no entanto, isso não teve impacto significativo na deteção. Após uma análise rigorosa, estimámos que a probabilidade de este sinal ter sido causado por ruído aleatório é inferior a uma vez a cada 1500 anos.

PARA SABER MAIS:

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

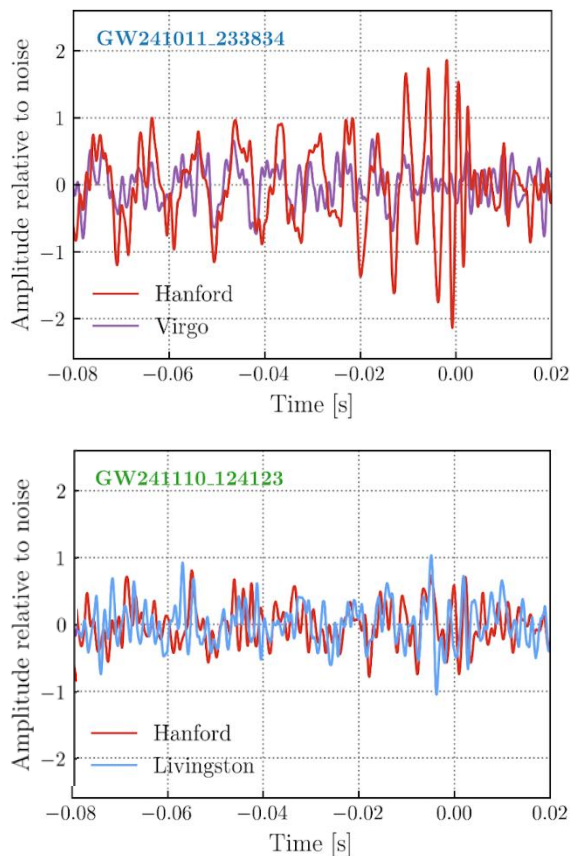


Figura 1: Os painéis mostram a amplitude dos sinais em função do tempo, combinando as observações dos detetores LIGO Hanford, LIGO Livingston e Virgo, para os eventos GW241011 (painel superior) e GW241110 (painel inferior). O instante da fusão dos eventos corresponde a Tempo = 0.

O QUE ORIGINOU ESTES SINAIS?

Cada evento resultou da violenta fusão de dois [buracos negros](#). O sinal GW241011 foi produzido pela colisão de dois buracos negros com massas de aproximadamente 20 e 6 vezes a [massa do Sol](#), enquanto os buracos negros em GW241110 tinham cerca de 17 e 8 massas solares — uma semelhança impressionante! (Ver a **Figura 2**, painel inferior.) Ambos estavam também a rodar rapidamente, tendo o spin do GW241011 sido medido com grande precisão. (Ver a **Figura 2**, painel superior.)

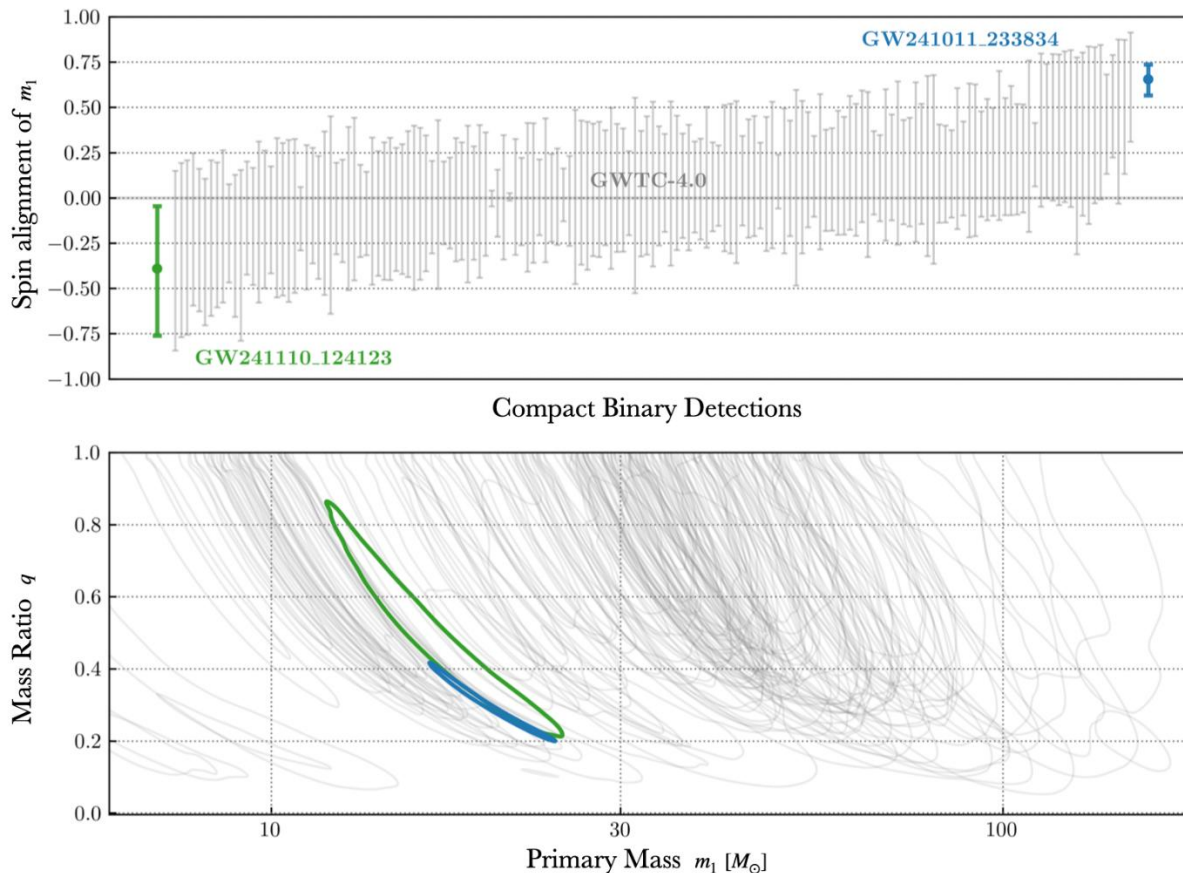


Figura 2: (Adaptada da Figura 1 da nossa publicação.) O painel superior mostra todos os eventos do catálogo mais recentemente publicado pela colaboração LVK, [GWTC-4](#), e os nossos dois novos eventos GW241011 e GW241110, ordenados pelo spin primário projetado na direção do spin do plano orbital — ou seja, quão alinhada está a direção de rotação do buraco negro primário com a direção da órbita do sistema binário. Valores maiores que zero indicam que o buraco negro está alinhado com o spin da órbita, enquanto valores menores que zero indicam que o sistema está anti-alinhado. O painel inferior mostra a distribuição da massa primária (a massa do buraco negro maior) em massas solares e o [quociente de massas](#) do par de buracos negros para todos os eventos do GWTC-4, incluindo os nossos novos eventos.

A EVOLUÇÃO CONTADA PELOS SPINS

Estes dois eventos partilham algumas características interessantes: em cada par, pudemos medir spin do buraco negro mais massivo (chamado de buraco negro *primário*) com precisão. As orientações dos spins dos dois buracos negros primários também não estavam perfeitamente alinhadas com as suas órbitas, e em cada par um dos buracos negros tinha aproximadamente o dobro da massa do outro. Estes indícios sugerem que o buraco negro primário em cada par poderá ter resultado de uma fusão anterior de buracos negros — tornando-o o que chamamos de buraco negro de “segunda geração” (ver a **Figura 3**). Este cenário é conhecido como **fusão hierárquica** e aponta para a possibilidade de que estes sistemas se tenham formado em ambientes densos, como [aglomerados estelares](#), onde os buracos negros têm maior probabilidade de se encontrar e fundir repetidamente. No entanto, não podemos excluir o cenário alternativo de que ambos os sistemas resultaram da evolução de um par de estrelas isoladas.

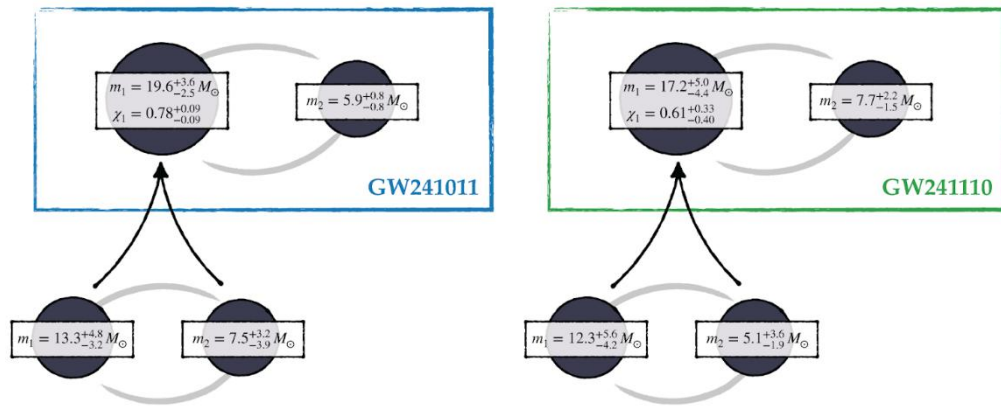


Figura 3: (Adaptada da Figura 7 da nossa publicação.) É mostrado o par de buracos negros em cada um dos eventos GW241011 e GW241110, juntamente com os possíveis antecessores do buraco negro primário de cada par. A massa estimada, em unidades de massas solares, e a respetiva incerteza são indicadas para cada buraco negro. Também é mostrado o spin medido, χ , do buraco negro primário de cada par.

IMPLICAÇÕES PARA A FÍSICA FUNDAMENTAL

A medição do spin do buraco negro primário de GW241011, realizada com notável precisão e confiança, permitiu-nos testar uma previsão chave da [teoria da relatividade geral de Einstein](#) conhecida como o **momento quadrupolar induzido pelo spin** do buraco negro. Este efeito descreve como a rotação rápida distorce ligeiramente a forma de um buraco negro e altera as ondas gravitacionais que ele emite. Ao analisar cuidadosamente o sinal do GW241011 (ver a **Figura 4**), verificámos a previsão de Einstein sobre este efeito com uma precisão sem precedentes (sim, ele estava certo mais uma vez!), impondo as restrições mais fortes até à data sobre este aspeto dos buracos negros em rotação.

Buracos negros em rotação, como os buracos negros primários de GW241011 e GW241110, permitem-nos também testar a existência de novas partículas ainda por descobrir. Algumas teorias preveem que [bosões](#) ultraleves (candidatos a partículas de [“matéria escura”](#), muito mais leves do que qualquer partícula do [Modelo Padrão da física de partículas](#)) poderiam, ao longo do tempo, “extrair” spin dos buracos negros. Se tais partículas existissem dentro de uma certa faixa de massas e se encontrassem em nuvens à volta dos buracos negros primários de GW241011 e GW241110, teriam feito com que a rotação destes buracos negros diminuísse muito antes da fusão. Como ambos os buracos negros primários continuam a girar rapidamente, esta observação exclui uma ampla gama de massas possíveis para estes bosões, tornando estes eventos poderosos instrumentos para testar novas ideias em física.

CONCLUSÃO

A deteção de GW241011 e GW241110 destaca o notável progresso da astronomia de ondas gravitacionais na revelação da vida oculta dos buracos negros em fusão. Ambos os sistemas apontam para a possibilidade de buracos negros de “segunda geração” formados em ambientes densos, onde fusões podem ocorrer repetidamente. Além disso, a medição sem precedentes dos spins e dos multipolos de ordem superior com GW241011 permitiu testar a relatividade geral em condições extremas, com os nossos resultados a não mostrarem desvios face às previsões de Einstein. Os conhecimentos que adquirimos com cada deteção ajudam-nos a montar o grande puzzle do Universo, lembrando-nos que cada evento é não apenas uma descoberta astrofísica, mas também um laboratório para explorar as leis fundamentais da física.

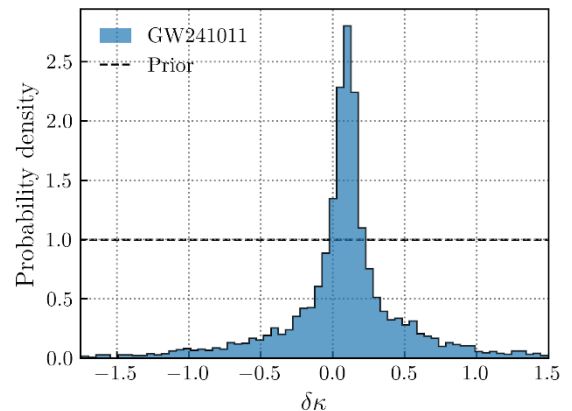


Figura 4: (Adaptada da Figura 9 da nossa publicação.) A diferença face à previsão da Relatividade Geral para o momento quadrupolar induzido pelo spin do buraco negro primário de GW241011. A diferença é compatível com zero, indicando que o evento está de acordo com a teoria de Einstein.

PARA SABER MAIS:

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

Lê uma pré-impressão de acesso livre do artigo científico [aqui](#) ou no [arxiv](#). A versão publicada do artigo está disponível [aqui](#).

Divulgação dos dados pelo Gravitational-Wave Open Science Center:

Dados do GW241011: <https://doi.org/10.7935/3drz-8m81>

Dados do GW241110: <https://doi.org/10.7935/46xh-t016>

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

Versão original escrita por Shanika Galaudage e Ish Gupta.