

GW241011 Y GW241110: DOS FUSIONES DE AGUJEROS NEGROS DE MASA DESIGUAL QUE GIRAN RÁPIDAMENTE, DETECTADAS MEDIANTE ONDAS GRAVITACIONALES

Durante los últimos meses de 2024, la colaboración LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) detectó GW241011 y GW241110: dos eventos de ondas gravitacionales notablemente similares (y no solo en sus nombres). El primero de ellos, GW241011, se detectó el 11 de octubre de 2024 a las 23:38:34 UTC. GW241110 se detectó casi exactamente un mes después, el 10 de noviembre a las 12:41:23 UTC. Ambos eventos son agujeros negros binarios que giran rápidamente y, en cada caso, sus agujeros negros tienen masas desiguales. Estas propiedades tienen implicaciones para nuestra comprensión de la formación y evolución de los pares de agujeros negros, así como para diversas áreas de la física fundamental.

CAPTANDO LAS SEÑALES

Los detectores LIGO y Virgo identificaron ambos eventos durante la segunda parte de la cuarta campaña de observación de LIGO-Virgo-KAGRA (O4b). La **figura 1** muestra la amplitud de los datos registrados a lo largo del tiempo para estos eventos.

GW241011 destacó inmediatamente, elevándose muy por encima del ruido típico en ambos detectores. En LIGO Hanford, la señal fue aproximadamente 35 veces más fuerte que el ruido de fondo, mientras que Virgo la detectó a aproximadamente 9 veces el nivel de ruido. LIGO Livingston no estaba en funcionamiento en ese momento. Utilizando algoritmos de búsqueda avanzados y técnicas estadísticas, descubrimos que la probabilidad de que un ruido aleatorio imite esta señal es inferior a una vez en 10^{26} años, mucho más que la edad del universo.

GW241110 se detectó un mes después, y esta vez los tres detectores estaban observando. Aunque la señal era más débil que GW241011, era claramente visible en ambos instrumentos LIGO, con Virgo contribuyendo con una señal más débil. El movimiento del suelo en el detector de Livingston era de alto nivel, lo que provocó cierto ruido de baja frecuencia; sin embargo, esto no afectó significativamente a la detección. Tras un análisis minucioso, estimamos que la probabilidad de que esta señal fuera causada por ruido aleatorio es inferior a una vez cada 1500 años.

PARA MÁS INFORMACIÓN:

Visita nuestras [páginas web: www.ligo.org](http://www.ligo.org)

www.virgo-gw.eu

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

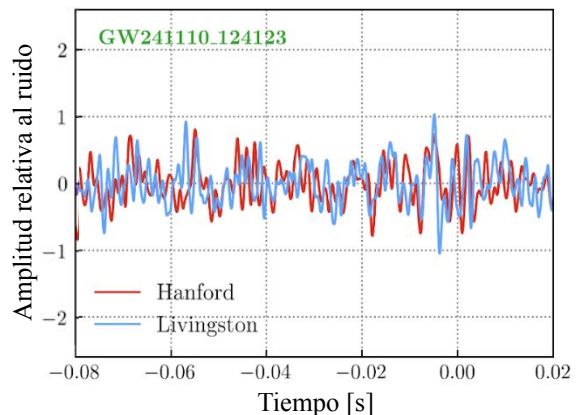
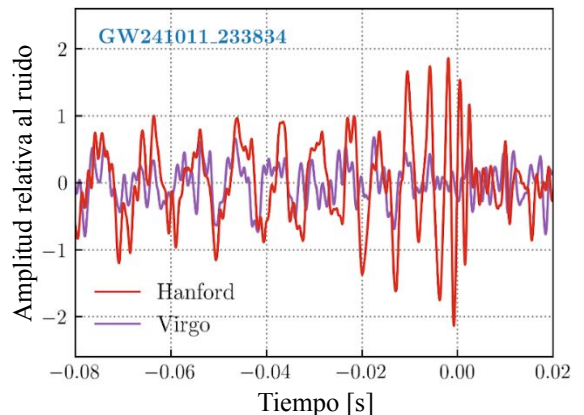


Figura 1: Los paneles muestran la amplitud de los datos a lo largo del tiempo en una combinación de los detectores LIGO Hanford, LIGO Livingston y Virgo para GW241011 (panel superior) y GW241110 (panel inferior). El momento de la fusión de los eventos es en el instante = 0.

¿QUÉ CREÓ ESTAS SEÑALES?

Cada evento fue el resultado de una violenta fusión de dos [agujeros negros](#). GW241011 fue una señal de onda gravitacional procedente de la colisión de dos agujeros negros con una masa aproximada de 20 y 6 veces la [masa de nuestro Sol](#), mientras que los agujeros negros de GW241110 tenían una masa de aproximadamente 17 y 8 veces la del Sol, ¡una similitud sorprendente! (Véase la [figura 2](#), panel inferior). Ambos giraban rápidamente y el giro de GW241011 se midió con precisión. (Véase la [figura 2](#), panel superior).

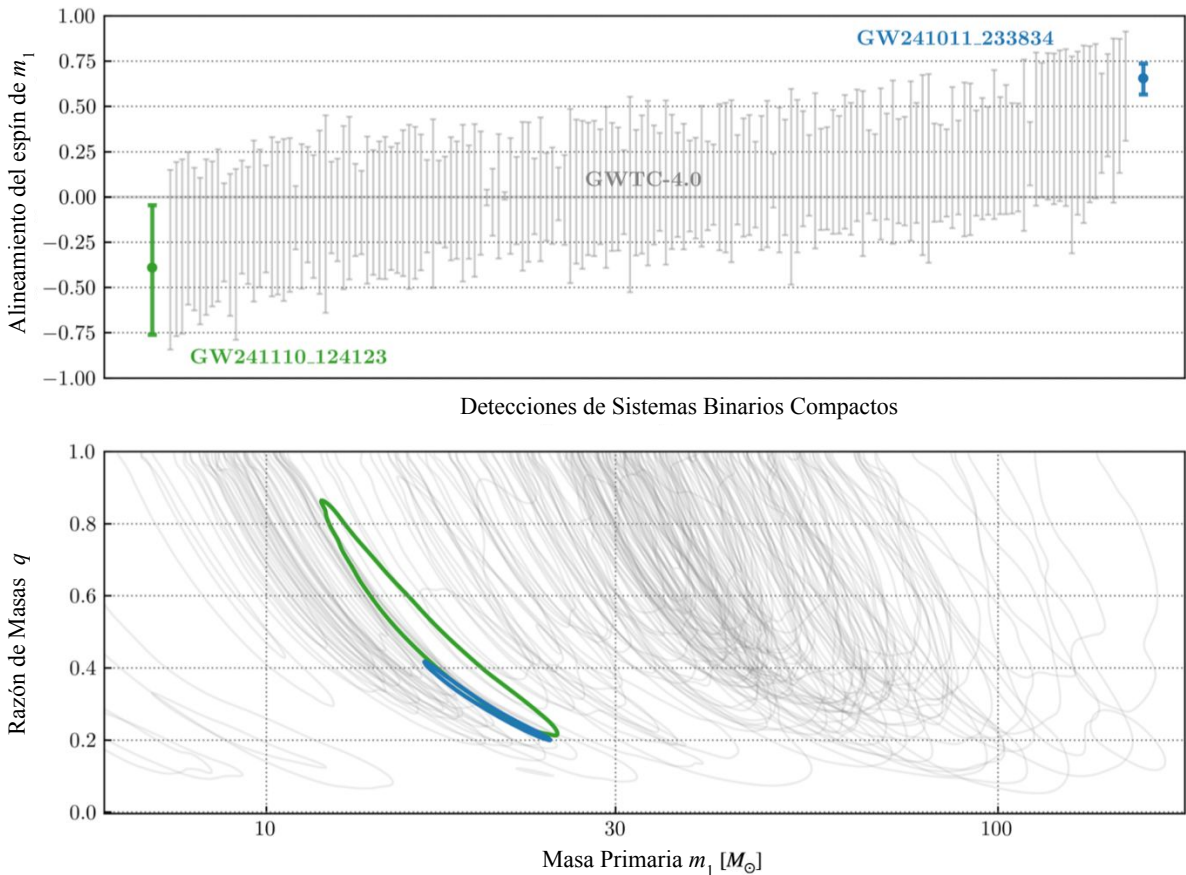


Figura 2: (Adaptada de la figura 1 de nuestra publicación) El panel superior muestra todos los eventos de GWTC-4 y nuestros dos nuevos eventos GW241011 y GW241110 ordenados por el espín primario proyectado en la dirección del espín del plano orbital; en otras palabras, cómo se alinea la dirección del espín del agujero negro más grande con la dirección de la órbita del sistema binario. Los valores superiores a cero significan que el agujero negro está alineado con el espín de la órbita, mientras que los valores inferiores a cero significan que el sistema está desalineado. El panel inferior muestra la distribución de la masa primaria (la masa del agujero negro más grande) en masas solares y la relación de masas del par de agujeros negros para todos los eventos de GWTC-4, incluidos nuestros nuevos eventos.

TEJER UNA HISTORIA EVOLUTIVA

Estos dos eventos comparten algunas características interesantes: en cada par, el agujero negro más masivo tenía un espín bien medido. Las orientaciones del espín de los agujeros negros más masivos tampoco estaban perfectamente alineadas con sus órbitas, y cada par tenía un agujero negro que era aproximadamente el doble de masivo que el otro. Estas pistas sugieren que el agujero negro más masivo de cada par podría provenir de una fusión anterior de agujeros negros, lo que lo convierte en lo que llamamos un agujero negro de «segunda generación» (véase la [figura 3](#)). Este escenario se denomina **fusión jerárquica** y apunta a la posibilidad de que estos sistemas se formaran en entornos densos, en regiones como [cúmulos estelares](#), donde es más probable que los agujeros negros se encuentren entre sí y se fusionen una y otra vez. Sin embargo, no podemos descartar el escenario alternativo de que ambos sistemas fueran el resultado de un par de estrellas que evolucionaron de forma aislada.

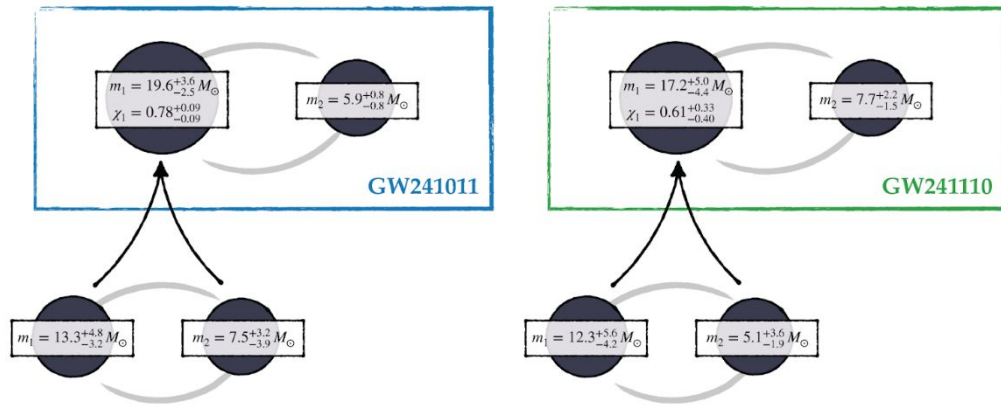


Figura 3: (Adaptada de la figura 7 de nuestra publicación). Se muestra el par de agujeros negros en cada uno de los eventos GW241011 y GW241110, junto con los posibles antepasados del agujero negro más grande de cada par. Se indica la masa estimada, en unidades de la masa del Sol, y su incertidumbre para cada agujero negro. También se muestra el espín medido, χ , del agujero negro más grande de cada par.

IMPLICACIONES PARA LA FÍSICA FUNDAMENTAL

La medición extraordinariamente precisa y fiable del espín del agujero negro más masivo de GW241011 nos permitió comprobar una predicción clave de la teoría de la relatividad general de Einstein, conocida como **momento cuadrupolar inducido por el espín** del agujero negro. Este efecto describe cómo la rápida rotación distorsiona ligeramente la forma de un agujero negro y altera las ondas gravitacionales que emite. Mediante un análisis minucioso de la señal de GW241011 (véase la **figura 4**), verificamos la predicción de Einstein sobre este efecto con una precisión sin precedentes (¡sí, volvió a acertar!), lo que supuso la restricción más estricta hasta la fecha sobre este aspecto de los agujeros negros giratorios.

Los agujeros negros giratorios, como los agujeros negros más grandes de GW241011 y GW241110, también nos permiten comprobar la existencia de nuevas partículas aún por descubrir. Algunas teorías predicen que los bosones ultraligeros (que son partículas candidatas a ser «materia oscura», mucho más ligeras que cualquier otra del Modelo Estándar de la física de partículas) podrían «extraer» gradualmente el espín de los agujeros negros con el tiempo. Si tales partículas existieran dentro de un determinado rango de masa y se encontraran en las nubes alrededor de los agujeros negros más grandes de GW241011 y GW241110, habrían provocado una ralentización de la velocidad de giro de los agujeros negros mucho antes de que se fusionaran. Dado que se ha observado que los dos agujeros negros más grandes siguen girando rápidamente, esto descarta una amplia gama de masas posibles para estas partículas bosónicas, lo que convierte estos eventos en potentes sondas de la nueva física.

CONCLUSIONES

La detección de GW241011 y GW241110 pone de relieve los notables avances de la astronomía de ondas gravitacionales en el descubrimiento de la vida oculta de los agujeros negros en fusión. Ambos sistemas apuntan a la posibilidad de que se formen agujeros negros de «segunda generación» en entornos densos donde las fusiones pueden producirse repetidamente. Además, la medición sin precedentes de los espines y los multipolos de orden superior de GW241011 permitió poner a prueba la relatividad general en condiciones extremas, y nuestros resultados no mostraron desviaciones de las predicciones de Einstein. Los conocimientos que obtenemos con cada detección nos ayudan a armar el gran rompecabezas del universo, recordándonos que cada evento no es solo un descubrimiento astrofísico, sino también un laboratorio para investigar las leyes fundamentales de la física.

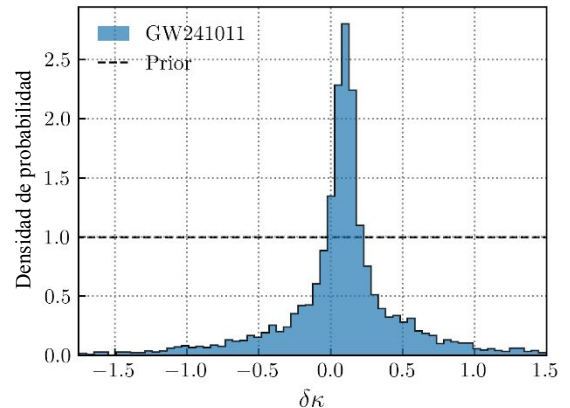


Figura 4: (Adaptada de la figura 9 de nuestra publicación) La desviación de la predicción de la relatividad general para el momento cuadrupolar inducido por el espín del agujero negro primario de GW241011. La desviación es compatible con cero, lo que indica que el evento es coherente con la teoría de Einstein.

PARA SABER MÁS:

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

Lee el preprint gratuito del artículo científico completo [aquí](#) o [aquí](#), o en [arXiv](#).

Publicación de datos del Gravitational-Wave Open Science Centre:

Datos para GW241011: <https://doi.org/10.7935/3drz-8m81>

Datos para GW241110: <https://doi.org/10.7935/46xh-t016>

Traducción al castellano por Pablo García (a partir de la versión original en inglés).