

BÚSQUEDA DE AGUJEROS NEGROS DE MASA PLANETARIA EN EL UNIVERSO PRIMITIVO

La materia oscura constituye el 85 % de la materia total del universo, pero es completamente invisible para nosotros. Sin embargo, podemos medir sus efectos en diversos objetos celestes: vaga por cada galaxia e impide que las estrellas salgan disparadas de sus órbitas; cambia la dirección de los rayos de luz procedentes de galaxias lejanas; guía la formación de las estructuras a gran escala del Universo e incluso ha dejado huellas en el fondo cósmico de microondas, la fotografía más lejana y antigua del Universo, tomada cuando solo tenía 380.000 años.

Durante mucho tiempo, los cosmólogos han sospechado que la materia oscura está compuesta por un nuevo tipo de partícula que apenas interactúa con la materia ordinaria. Pero tras años de búsqueda sin encontrar rastro alguno de ella, otras posibilidades han comenzado a parecer más atractivas. Una de ellas, que en su día se consideró poco probable, volvió a ser objeto de atención después de que LIGO y Virgo detectaran por primera vez ondas gravitacionales.

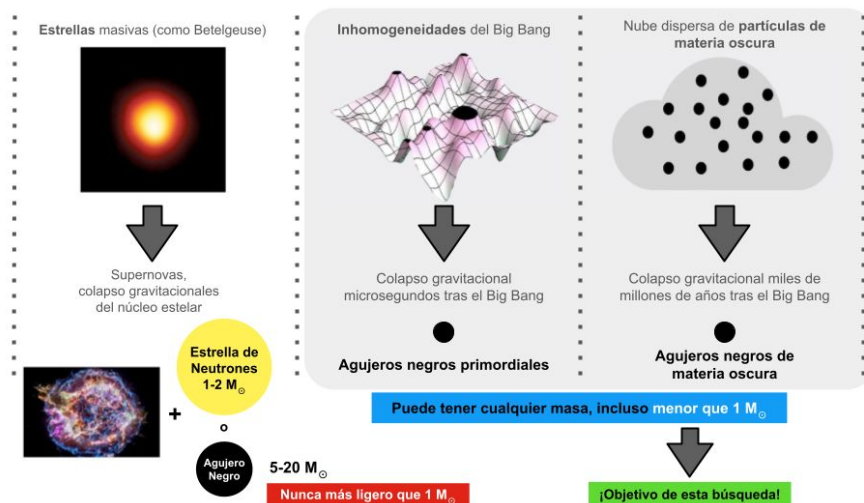


Figura 1: Ilustración que muestra las diferentes formas en que se pueden formar los agujeros negros.

Algunos de los agujeros negros observados por estos detectores tienen propiedades inesperadas, como giros relativamente bajos y masas inusuales. Estas pistas han llevado a científicas y científicos a preguntarse si algunos agujeros negros podrían haberse formado no a partir de estrellas moribundas, sino a partir de densas acumulaciones de materia en las primeras fracciones de segundo después del Big Bang (véase la **figura 1**). Si existen, estos antiguos agujeros negros, llamados agujeros negros primordiales (PBH, por sus siglas en inglés), podrían constituir parte —o incluso la totalidad— de la misteriosa materia oscura. Con cada nueva detección de ondas gravitacionales, el debate sobre esta posibilidad se intensifica.

Los detectores de ondas gravitacionales LIGO, Virgo, y KAGRA se diseñaron para buscar ondas gravitacionales procedentes de la fusión de agujeros negros y estrellas de neutrones, púlsares no axisimétricos en rotación, estrellas en explosión y combinaciones de todas estas fuentes. Sin embargo, estos detectores son tan sensibles que también podrían observar PBH en espiral a cientos de kiloparsecs de distancia, con masas planetarias, que pueden ser observados por nuestros detectores durante períodos de horas o días. Estas duraciones son mucho más largas que las fusiones de los agujeros negros más pesados que se detectan habitualmente en la actualidad.

Aquí buscamos sistemas binarios en espiral de objetos ultracompactos con masa planetaria que emiten ondas gravitacionales a medida que se acoplan.

PARA MÁS INFORMACIÓN:

Visita nuestras www.ligo.org

páginas web: www.virgo-gw.eu

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



Estas señales duran al menos horas en las frecuencias a las que son sensibles nuestros detectores, lo que significa que los análisis de filtrado adaptado tienen dificultades para hacer frente a la inmensa cantidad de potencia computacional necesaria para buscar señales tan duraderas en comparación. Por lo tanto, hemos utilizado un nuevo método que se basa en encontrar diferentes trazas en las representaciones de tiempo-frecuencia de los datos del detector, cada una de las cuales correspondería de forma única a sistemas con diferentes masas chirp. Esta es uno de los principales parámetros que rige la forma de onda de la fusión en espiral y nos permite distinguir entre diferentes sistemas astrofísicos.

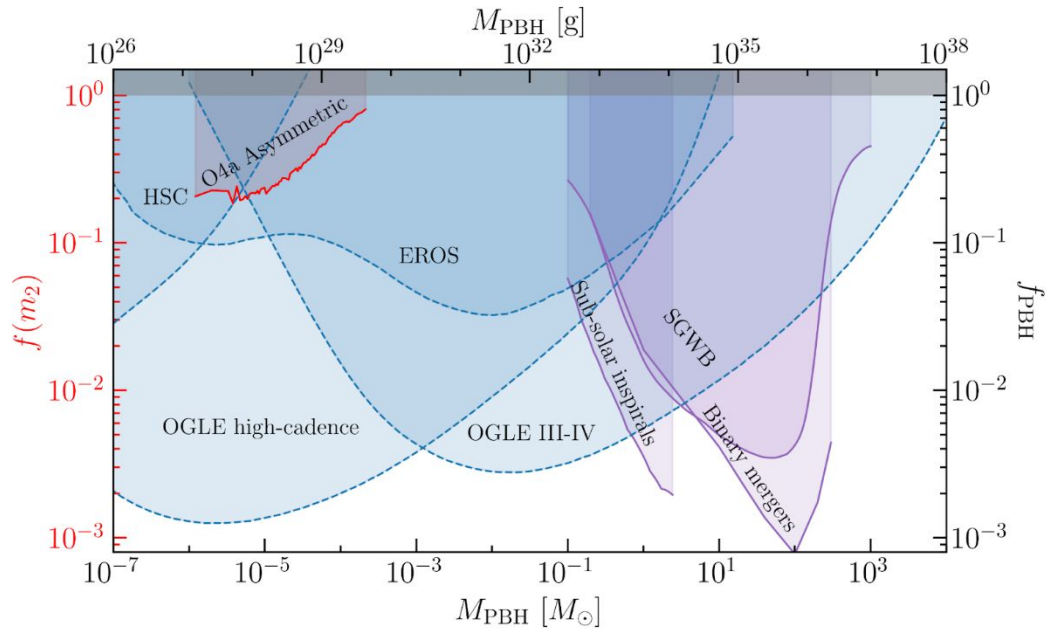


Figura 2 (Figura 4 en el [artículo](#)): Los **límites superiores** a la fracción de materia oscura que podrían constituir los agujeros negros primordiales (PBH), en función de su masa, se muestran en rojo. Los ejes horizontales indican la masa de los PBH en gramos y masas solares, mientras que el eje vertical derecho muestra la fracción de materia oscura correspondiente, f_{PBH} , utilizada para la comparación con otras restricciones experimentales. Estos límites existentes suelen suponer que todos los PBH tienen la misma masa. Por el contrario, nuestros límites (en rojo) se aplican a la abundancia de PBH con masas determinadas (eje vertical izquierdo), en las que suponemos que los PBH constituyen toda la materia oscura. Cada curva refleja supuestos específicos sobre los mecanismos de formación de los PBH y su distribución de masa. Nuestros resultados limitan esta fracción por debajo de la unidad para masas entre $[10^{-6}, 10^{-4}]$ masas solares, complementando los límites de microlente existentes de **HSC**, **EROS** y **OGLE**, aunque estos asumen que toda la materia oscura está compuesta por PBH y solo son válidos para formas específicas en las que se forman los PBH.

Nuestro trabajo utiliza datos de la 1ª parte de la 4ª campaña de observación de **Advanced LIGO**, **Advanced Virgo** y **KAGRA** (O4a) para determinar si hubo algún objeto ultracompacto en espiral en nuestra galaxia durante la recopilación de datos. Aunque no hemos detectado ninguna señal, como se muestra en la **figura 2**, podemos establecer **límites superiores** a (1) la distancia a la que podríamos haber visto tales espirales, (2) la frecuencia con la que se producirían estas espirales y (3) la fracción de materia oscura que podría estar compuesta por PBH.

Nuestra búsqueda ha producido las primeras restricciones de ondas gravitacionales sobre la fracción de materia oscura que podría deberse a PBH en el régimen de masa planetaria. Aunque menos sensible que las búsquedas dirigidas a agujeros negros aislados, nuestro estudio investiga los PBH que se forman en sistemas binarios, lo que proporciona restricciones complementarias sobre su posible abundancia en muchas masas.

GLOSARIO

LIGO: Observatorio de Ondas Gravitacionales por Interferometría Láser (LIGO) es un par de detectores de ondas gravitacionales con sede en Estados Unidos. Uno está situado cerca de Livingston, Louisiana, y el otro cerca de Hanford, Washington. Ambos detectores son interferómetros láser a gran escala, con dos brazos perpendiculares de 4 km de longitud, que intentan medir cualquier cambio en la longitud relativa de los brazos causado por el paso de una onda gravitacional.

Virgo: detector de ondas gravitacionales situado cerca de Pisa, Italia. También es un interferómetro láser, pero con brazos de 3 km de longitud.

KAGRA: detector subterráneo de ondas gravitacionales situado cerca de Toyama, Japón. También es un interferómetro láser, pero con brazos de 3 km de longitud y espejos refrigerados criogénicamente.

Púlsar: de «fuente de radio pulsante», una estrella compacta giratoria altamente magnetizada que emite haces de radiación electromagnética desde sus polos magnéticos.

Sensibilidad: descripción de la capacidad de un detector para detectar una señal. Los detectores con un nivel de ruido más bajo son capaces de detectar señales más débiles y, por lo tanto, se dice que tienen una sensibilidad más alta (o mayor).

Campaña de observación: periodo durante el cual los detectores de ondas gravitacionales recopilan datos para observaciones astrofísicas.

Límite superior: valor máximo que puede alcanzar una magnitud y seguir siendo coherente con los datos. A menudo asociamos un grado de confianza del 95 % con el límite superior, es decir, dados los datos, creemos que hay un 95 % de probabilidades de que el valor real de la magnitud de interés sea inferior a este límite.

Agujeros negros primordiales: agujeros negros que pueden haberse formado en los inicios del Universo, una fracción de segundo después del **Big Bang**, a partir de regiones de materia excepcionalmente densas.

PARA MÁS INFORMACIÓN:

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

Lee la versión preliminar gratuita del artículo científico completo [aquí](#) o en [arxiv](#).
Los datos del Gravitational-Wave Open Science Center para GWTC-4.0 están disponibles [aquí](#).

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