

SONDEANDO LA POBLACIÓN DE ESTRELLAS DE NEUTRONES Y NUBES DE BOSONES EN EL CORAZÓN DE NUESTRA GALAXIA

Según las observaciones astronómicas, la región cercana al centro de la Vía Láctea, nuestra Galaxia, es un lugar muy activo y densamente poblado. En particular, los telescopios espaciales como [Fermi-LAT](#) han medido un exceso de energía, en forma de radiación electromagnética de alta energía, proveniente de esa región particular del cielo. Este exceso sugiere que la región que rodea el centro galáctico puede albergar una gran población de **estrellas de neutrones**, junto al **agujero negro** supermasivo Sagitario A* (Sgr A*, ver Fig. 1). Como suele ocurrir en ciencia, también existen otras hipótesis sobre la causa de este exceso electromagnético. De hecho, otra posible explicación es la presencia de **materia oscura** que colisiona consigo misma para producir una sobreabundancia de radiación.

Otra forma de estudiar la composición de esta región extrema es a través de ondas gravitacionales. En particular, sabemos que las estrellas de neutrones que rotan con cierta asimetría de masa sobre su eje de rotación emiten un tipo particular de ondas gravitacionales caracterizadas por su naturaleza longeva. Se espera que estas señales, aún no detectadas, sean al menos 100 veces más débiles que los **eventos de ondas gravitacionales** detectados hasta ahora. Dada su naturaleza longeva, somos capaces de acumular potencia de señal durante todo el período de observación analizado, lo que nos permite extraer estas pequeñas señales del ruido. Además, se espera que la frecuencia de las ondas gravitacionales de fuentes continuas no varíe demasiado con el tiempo, a diferencia del rápido aumento de frecuencia observado en las etapas finales de la coalescencia de dos objetos compactos, tal como han sido todos los eventos de ondas gravitacionales detectados hasta el momento (ver, por ejemplo, [aquí](#) y [aquí](#)).

FIGURAS

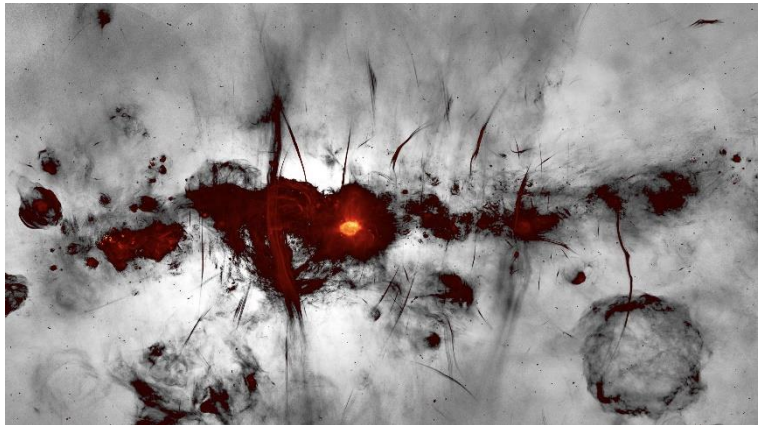


Figura 1: Imagen del telescopio [MeerKAT](#) del centro de nuestra galaxia que muestra la emisión de radio de la región. El punto central más brillante es la ubicación del agujero negro supermasivo Sgr A*. Consulte [aquí](#) para obtener información sobre otros objetos en esta imagen. La imagen cubre una región de ~ 2 grados horizontalmente, lo que equivale a ~ 140 pársecs a cada lado de Sgr A* suponiendo una distancia de la Tierra de 8000 pársecs. Hemos buscado en una región centrada en la posición del cielo de Sgr A* con un radio de 300 pársecs para la frecuencia más baja de nuestro rango, reduciéndose a 30 pársecs para la frecuencia más alta que consideramos. Crédito: I. Heywood, SARAO

Se espera que una señal casi monocromática similar sea emitida por un agujero negro giratorio rodeado por una nube de **bosones** ultraligeros, que son un hipotético candidato a materia oscura. Esta nube puede formarse alrededor de un agujero negro giratorio gracias a un efecto físico llamado **superradiancia**. Una vez formada la nube de bosones, comenzará a dispersarse, emitiendo ondas gravitacionales a una frecuencia proporcional a la masa de los bosones que forman la nube. Esta evaporación se produce de forma bastante lenta, por lo que las señales de las ondas gravitacionales pueden durar en algunos casos más de 100.000 años antes de que la nube se disipe por completo.

Utilizando datos del último período de observación de los interferómetros LIGO y Virgo, buscamos estas señales continuas provenientes de los **pársecs** internos del centro galáctico. Dado que no conocemos las frecuencias emitidas ni por las estrellas de neutrones ni los sistemas de nubes de bosones/agujeros negros, investigamos una amplia gama de frecuencias.

En concreto, consideramos frecuencias entre 10 y 2000 **Hertz**, en la banda más sensible de los detectores. Además, también consideramos la posibilidad de que esta frecuencia pueda variar en una escala de tiempo larga. Para las estrellas de neutrones, la frecuencia generalmente disminuye (**spin-down**) debido a la pérdida de energía a través de ondas electromagnéticas o gravitacionales, aunque también es posible un pequeño aumento (es decir, **spin-up**), como en el caso de una estrella de neutrones en rotación acretaando materia de un compañero. Para los sistemas de nubes de bosones/agujeros negros, en cambio, solo esperamos un pequeño aumento en la frecuencia como consecuencia de la aniquilación de las nubes. También consideramos que una pequeña frecuencia aleatoria errante en nuestro modelo de señal es más robusta frente a posibles desviaciones de la teoría que describe el escenario de emisión de ondas gravitacionales de nubes de bosones. Los sistemas de nubes de bosones/agujeros negros compuestos por bosones con masas entre $\sim 10^{-14}$ a 10^{-12} eV/c² (que corresponden a $\sim 10^{-48}$ a 10^{-46} kg) emiten ondas gravitacionales en este rango de frecuencia.

No detectamos ninguna señal significativa durante esta búsqueda, lo que significa que podemos excluir la presencia de estrellas de neutrones que emitan ondas gravitacionales con amplitudes superiores a cierto valor desde la dirección del centro galáctico. Estos límites significan que hemos podido restringir la **elipticidad** no axisimétrica de las estrellas de neutrones en rotación en el centro galáctico para que sea tan baja como $10^{-6} - 10^{-7}$ en la frecuencia más alta (ver Fig. 2). Por lo tanto, estamos comenzando a probar los límites superiores teóricos de la elipticidad máxima posible esperada para las estrellas de neutrones compuestas de materia normal. También podemos usar estos límites para probar un escenario de emisión alternativo de una estrella de neutrones que gira, aquí no debido a una deformación estática, sino producida por un tipo particular de oscilaciones que ocurren en la estrella, llamadas **modos r**. Aquí podemos excluir la amplitud máxima teórica estándar de saturación del modo r de $\sim 10^{-4}$ para frecuencias de espín por encima de ~ 450 Hz.

Dado que no encontramos evidencia de ondas gravitacionales, también podemos excluir varias combinaciones de la masa del bosón/masa del agujero negro, asumiendo un giro dado para el agujero negro y una edad para la nube de bosones. Podemos excluir señales de sistemas con una masa de agujero negro entre 15 y 100 veces la masa del Sol y masas bosónicas entre 10^{-13} y 10^{-12} eV/c² (ver Fig. 3)

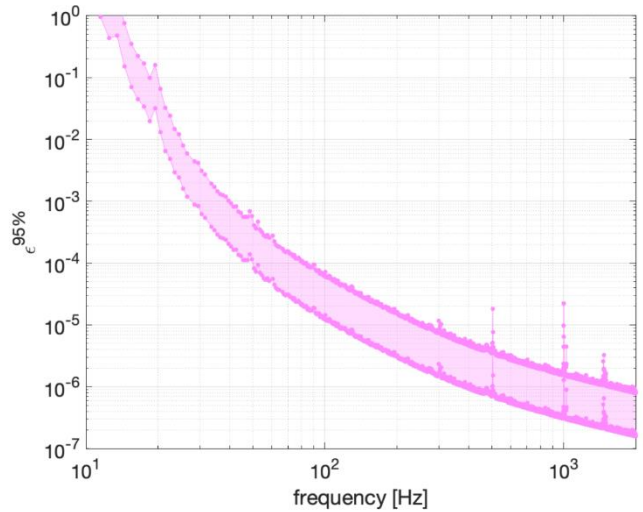


Figura 2: Límites superiores de elipticidad asumiendo una distancia del centro galáctico de 8000 pársecs, en función de la frecuencia en unidades de Hertz. El área sombreada entre las dos curvas cubre el rango de valores de los posibles **momentos de inercia** de una estrella de neutrones: uno para el valor fiduciario de una estrella de neutrones compuesta de materia normal (curva superior) y otro para estrellas de neutrones con componentes más exóticos (curva inferior).

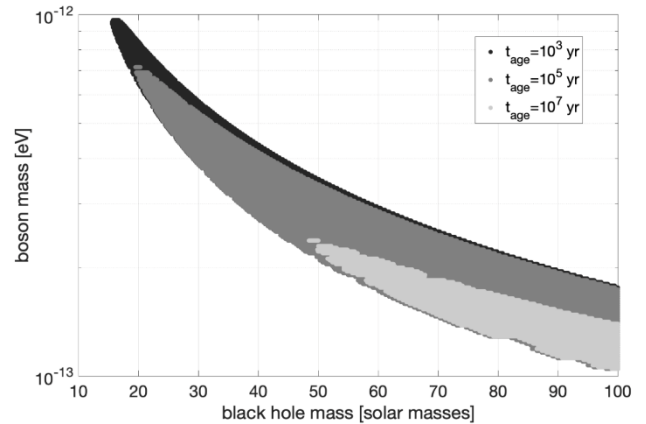


Figura 3: Restricciones en el plano masa del agujero negro - masa bosónica. Asumimos agujeros negros en rotación de la mitad del máximo teórico con nubes de bosones ubicados en el centro galáctico (a una distancia de 8000 pársecs). Se han considerado nubes con diferentes edades. Dado que las nubes más jóvenes emiten ondas gravitacionales más fuertes, en este caso podemos restringir un espacio de parámetros más amplio. Las áreas sombreadas, para cada edad de nube de bosones, representan las combinaciones de masa de agujero negro y masa de bosón que ahora sabemos que no están presentes en el centro galáctico.

GLOSARIO

Pársec: una unidad de distancia que es aproximadamente igual a 3.26 años luz (31 trillones de kilómetros o 19 trillones de millas).

Estrella de neutrones: una reliquia de una estrella de alrededor de 10^{25} veces la masa del Sol que ha alcanzado el final de su vida. Normalmente, una estrella de neutrones tiene una masa de 1.4 veces la masa del Sol, y un radio de 10^{-3} km, ¡siendo así un objeto extremadamente denso!

Agujero negro: una región del espacio-tiempo con una gravedad tan intensa que impide que cualquier cosa, incluida la luz, escape. Los agujeros negros vienen en diferentes tamaños - un **agujero negro supermasivo** es uno cuya masa está en un rango de entre 10^5 y mas de 10^9 veces la masa del Sol.

Materia oscura: esta misteriosa forma de la materia equivale al 85% de la masa de nuestro universo. No sabemos que es la **materia oscura**, pero muchas teorías sobre la materia oscura predicen que es un tipo de partícula fundamental que puede llegar a formar objetos macroscópicos.

Evento de ondas gravitacionales: las ondas gravitacionales son pequeñas fluctuaciones de la gravedad ("ondas en el tejido del espacio-tiempo"); las ondas gravitacionales que son suficientemente grandes para ser detectables pueden ser únicamente causadas por el rápido movimiento de cuerpos astronómicos masivos. Un evento de onda gravitacional es una señal de una onda gravitacional identificada en un flujo de datos de uno o más detectores de ondas gravitacionales.

Bosones: un tipo de partícula elemental. Los **bosones** no obedecen el **principio de exclusión de Pauli** obedecido por **fermiones** (otro tipo de partículas elementales, como los electrones). Esta propiedad permite que varios bosones ocupen el mismo estado cuántico al mismo tiempo y formar objetos macroscópicos como las nubes de bosones consideradas en este artículo.

Superradiancia: un proceso en donde las partículas extraen energía rotacional de objetos en rotación masivos. En el caso de las nubes de bosones, un **campo bosónico** en las cercanías de un **agujero negro en rotación** puede ser amplificado a través de **dispersión superradiante**.

Hz: la abreviación para **Hertz**, una unidad de frecuencia equivalente a un ciclo por segundo.

eV: la abreviación para **electronvoltio**, una unidad de energía comúnmente usada en física atómica y física de partículas. Debido a la relación entre energía y masa establecida por Einstein, $E = mc^2$, las masas de las partículas pueden ser dadas en unidades de energía dividido por el cuadrado de la velocidad de la luz, es decir, eV/c². Por ejemplo, la masa del **electrón** es $5,11 \times 10^5$ eV/c² mientras que la masa del **neutrino**, la partícula masiva más ligera conocida hasta ahora, es menor a $0,120$ eV/c². Cuando el sistema de unidades natural es usado (el cual establece que $c=1$), las masas son expresadas en eV.

Elípticidad: aproximadamente, la elipticidad puede ser interpretada como el ratio entre el tamaño Δr de la deformación, o "montaña" en la superficie de la estrella de neutrones, comparado con el radio de la estrella, $r: \Delta r/r$.

Modos r: ondas en un fluido en rotación, también conocidas como **ondas de Rossby** e impulsadas por la **fuerza de Coriolis**. Estas tienen una frecuencia que es comparable a la frecuencia de rotación de una estrella, así que para estrellas de neutrones jóvenes, podrían estar en las bandas de frecuencias de LIGO y Virgo.

INFORMACIÓN ADICIONAL:

Visita nuestras páginas web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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

Lee el artículo completo, gratuito y en línea:

<https://dcc.ligo.org/P2100437/public>

<https://arxiv.org/abs/2204.04523>



Traducción al castellano por

Adam César Maćkowiak Pellón y Joan-René Mèrou