

El Universo en mi bolsillo



Agujeros negros



Frédéric Vincent
Observatorio de París



Crédito: I. Sagdejev

La **inmensa presión** en el centro de una estrella empuja hacia fuera **como el vapor en una olla de agua hirviendo**.

El equilibrio de una estrella

Una estrella está en equilibrio entre dos tendencias opuestas. Las **reacciones nucleares** en el centro de la estrella (fusión del hidrógeno en helio, fusión del helio en carbono, etc., véase TUIMP 14) calientan la materia y le confieren así una presión muy elevada que tiende a expandir la estrella (como el vapor de agua bajo la tapa de una sartén caliente).

La **gravedad** hace que las partes exteriores de la estrella sean atraídas hacia su centro, lo que tiende a contraer la estrella.

Estas dos tendencias están exactamente equilibradas durante la mayor parte de la vida de la estrella. Pero, ¿qué ocurre cuando el combustible interno de la estrella se agota?

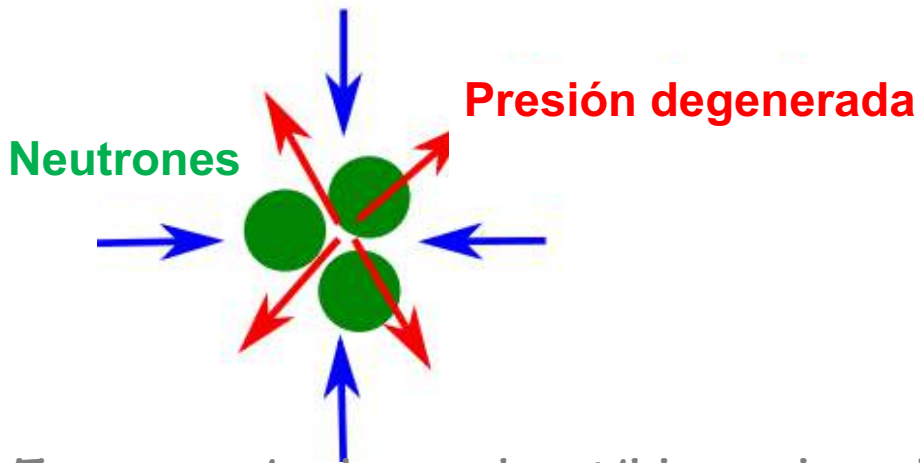
La gravedad tiende a hacer que las partes exteriores de la estrella caigan hacia su centro, al igual que una manzana cae del árbol debido a la atracción de la Tierra.



Una estrella está en equilibrio entre la acción exterior de la **presión térmica** y la acción interior de la **gravedad**.



Gravedad

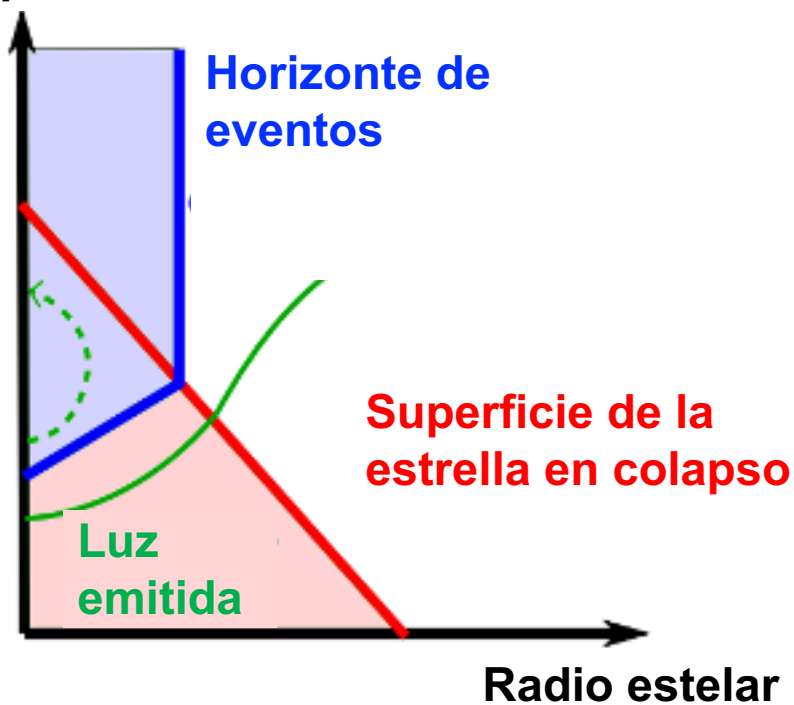


En ausencia de combustible nuclear, la gravedad provoca el colapso de la estrella, lo que conduce a una compresión muy fuerte de la materia de la estrella. La mecánica cuántica revela entonces **una nueva forma de presión conocida como degeneración**, que aumenta a medida que se incrementa la compresión. Se desarrolla así un nuevo adversario para enfrentarse a la gravedad, después de que la presión térmica ya no sea suficiente para sostener la estrella. Sin embargo, si la estrella es lo suficientemente masiva, la gravedad acaba venciendo y el colapso continúa hasta que se forma un agujero negro.

Fin de la vida de una estrella masiva

Cuando todo el combustible se ha agotado en el núcleo de la estrella, se rompe el equilibrio presión-gravedad. La gravedad se impone cuando la presión térmica ya no es lo suficientemente alta como para soportar el peso de la estrella. Entonces, la estrella se derrumba sobre sí misma. Si la estrella es masiva (más de unas 10 masas solares) sigue colapsando hasta que aparece una forma exótica de presión llamada "presión de degeneración de neutrones" que lucha contra el colapso. Finalmente, la estrella explota como supernova haciendo volar las capas exteriores de la estrella. Si el núcleo estelar restante tiene unas dos masas solares, permanecerá como una estrella de neutrones. Pero si el núcleo tiene una masa mayor, entonces ni siquiera la degeneración de neutrones puede proporcionar suficiente presión para contrarrestar la gravedad y la estrella colapsará en un agujero negro.

Tiempo



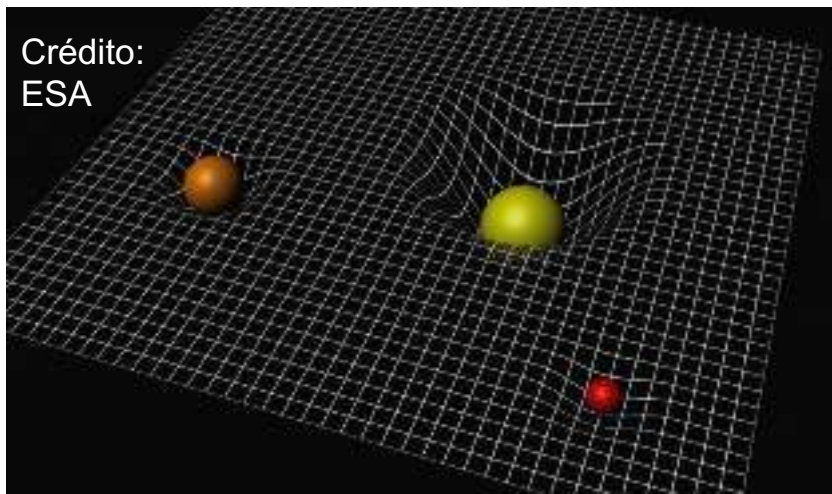
Formación de un agujero negro

Imaginemos un fotón (una partícula de luz) emitido desde el centro de la estrella que colapsa. Inicialmente, este fotón puede escapar de la estrella.

Sin embargo, en una fase muy tardía del colapso de la estrella, aunque el fotón comienza a alejarse, será forzado a volver hacia el centro de la estrella. ¿Por qué? Porque nace una nueva estructura del espacio-tiempo, llamada horizonte de eventos. Esto señala la creación del agujero negro. La luz emitida dentro del horizonte de eventos está sometida a una gravedad tan extrema que queda atrapada dentro del horizonte. Un agujero negro es "negro" en el sentido de que la luz no puede escapar de él.

Este diagrama representa el tamaño de la estrella en colapso (parte roja del diagrama, que disminuye con el tiempo de abajo a arriba). En una determinada fase del colapso, aparece el horizonte de eventos y crece hasta su tamaño final (parte azul del diagrama). La luz emitida fuera del horizonte puede escapar (trayectoria de línea continua verde), pero la luz emitida por debajo del horizonte (trayectoria de línea discontinua verde) queda atrapada allí. El agujero negro es la parte azul del diagrama.

Crédito:
ESA



La presencia de objetos masivos distorsiona el espacio-tiempo en sus proximidades. Si estos objetos son estáticos, esta deformación no evoluciona.

Si estos objetos son agujeros negros que giran uno alrededor del otro, la deformación se propaga como las ondas en la superficie de un estanque en el que se ha lanzado una piedra, pero viajando a la velocidad de la luz: Son las ondas gravitacionales. La figura anterior muestra la emisión de estas ondas por parte de un par de agujeros negros que giran uno alrededor del otro.

8

Ondas gravitacionales

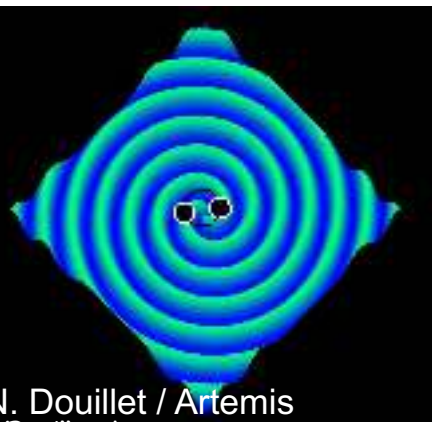
Los agujeros negros pueden existir en pares: los dos miembros del par orbitan uno alrededor del otro y emiten ondas gravitacionales.

Imagina una capa de gelatina con una frambuesa encima: el fruto rojo deformará ligeramente la superficie de la gelatina. Otra frambuesa colocada al lado añade su propia deformación. Si giras las frambuesas una alrededor de la otra, las líneas de deformación se extenderán por la gelatina.

Del mismo modo, las ondas gravitacionales son ondas de deformación en el espacio-tiempo causadas por agujeros negros en movimiento.

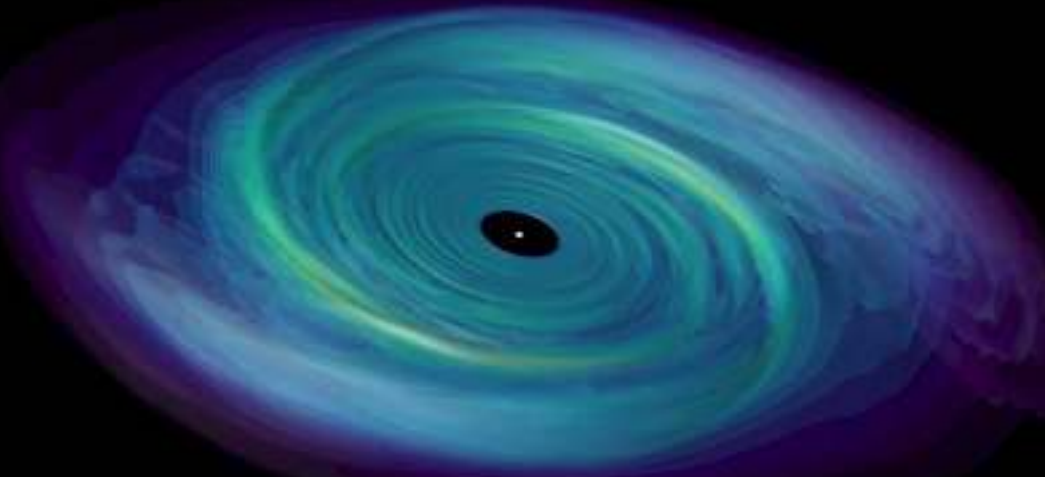
Estas ondulaciones se detectaron por primera vez en la Tierra en 2016. Proporcionan un medio muy valioso para determinar las propiedades de los agujeros negros. El Premio Nobel de Física 2017 se concedió por esta detección.

9



N. Douillet / Artemis

NASA (M. Owen, J. Blondin - resultado de la simulación)



Disco de acreción: La materia gira alrededor de un agujero negro y emite

ESO / L. Calçada



Visión artística de la órbita de una estrella alrededor de un agujero negro. El desplazamiento gradual de la órbita se debe

Agujeros negros y materia circundante

Aunque un agujero negro es negro, no se puede decir lo mismo de la materia que lo rodea. Un agujero negro no es una gran escoba del vacío cósmico: la materia orbita alrededor del agujero negro y crea un disco de acreción. Estos discos emiten abundante radiación en todas las longitudes de onda, lo que marca la presencia del agujero negro. Además, las estrellas pueden orbitar un agujero negro, y sus trayectorias también mostrarán la presencia del objeto compacto. Al igual que las ondas gravitacionales, la luz emitida en las proximidades de un agujero negro y las órbitas de las estrellas cercanas son pruebas útiles para estudiar las propiedades del agujero negro.

GRAVITY Colaboración
2021



Movimiento de cuatro estrellas en las proximidades del agujero negro supermasivo SgrA* en el centro de la Vía Láctea. El punto blanco central se corresponde con la radiación del

disco de acreción que rodea a SgrA*.

Colaboración EHT
2019



Imagen de la zona más central del disco de acreción que rodea al agujero negro supermasivo en el centro de la galaxia M87.

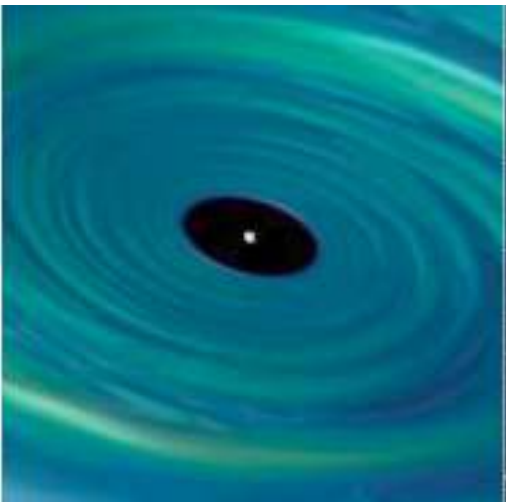
Agujeros negros supermasivos

Además de los agujeros negros creados por el colapso de estrellas masivas, existen agujeros negros "supermasivos" en el centro de las galaxias.

El Premio Nobel 2020 fue concedido por el estudio de las órbitas de las estrellas que ocupan la región más central de nuestra Vía Láctea, revelando la existencia de una masa 4 millones de veces superior a la del Sol, reunida en una región de tamaño menor que nuestro Sistema Solar.

Otras observaciones de la galaxia Messier 87 en 2019 proporcionaron la primera imagen de la vecindad inmediata de otro agujero negro supermasivo, aportando un fuerte apoyo a la existencia de estos objetos extremadamente masivos.

QUIZ



Simulación de un disco de acreción en torno a un agujero negro (Owen & Blondin, 2005).

Imagen observada del disco de acreción en el centro de la galaxia M87 (Colaboración EHT 2019).



¿Cuál de estas imágenes es el resultado de un
¿Observación?

Simulación de el fondo del cielo de la Vía Láctea con un agujero negro en primer plano (Riazuelo 2009).

Respuesta



Respuesta en el reverso

Simulación de un disco de acreción que rodea un agujero negro en el centro de la galaxia M87 (Vincent et al. 2019).

Simulación de un disco de acreción que rodea un agujero de gusano en el centro de la Vía Láctea (Lamy et al. 2018).

El Universo en mi bolsillo N° 17

Este folleto fue escrito en 2021 por Frédéric Vincent, del Observatorio de París (Francia), y revisado por Eric Gourgoulhon, también del Observatorio de París, y Stan Kurtz (UNAM, México).

Imagen de portada: simulación de Alain Riazuelo (Instituto de Astrofísica de París) de un fondo de cielo de la Vía Láctea con un agujero negro en primer plano.



Para saber más sobre esta colección y los temas presentados en este folleto, puede visitar <http://www.tuimp.org>

Traducción: Gloria Delgado Inglada
TUIMP Creative Commons

