



# Termodinámica Avanzada

Guía 8: Termodinámica de agujeros negros

# Temperatura de Hawking

Para Schwarzschild

$$T = \frac{1}{8\pi M} = \frac{m_p^2 c^2}{8\pi M k}$$

# Temperatura de Hawking

Para Schwarzschild

$$T = \frac{1}{8\pi M} = \frac{m_p^2 c^2}{8\pi M k}$$

Si  $M = M_\odot \rightarrow T \sim 10^{-8} \text{ K} \ll T_{CMB} \sim 3 \text{ K} \Rightarrow$  indetectable!

# Temperatura de Hawking

Para Schwarzschild

$$T = \frac{1}{8\pi M} = \frac{m_p^2 c^2}{8\pi M k}$$

Si  $M = M_\odot \rightarrow T \sim 10^{-8} K \ll T_{CMB} \sim 3 K \Rightarrow$  indetectable!

Si  $T \sim 3 K \rightarrow M?$

$$M \sim 10^{22} kg \sim 10^{-8} M_\odot$$

# Temperatura de Hawking

Para Schwarzschild

$$T = \frac{1}{8\pi M} = \frac{m_p^2 c^2}{8\pi M k}$$

Si  $M = M_\odot \rightarrow T \sim 10^{-8} K \ll T_{CMB} \sim 3 K \Rightarrow$  indetectable!

Si  $T \sim 3 K \rightarrow M?$

$$M \sim 10^{22} kg \sim 10^{-8} M_\odot$$

$R_S \sim 60 \mu m !$

# Temperatura de Hawking

Para Schwarzschild

$$T = \frac{1}{8\pi M} = \frac{m_p^2 c^2}{8\pi M k}$$

Si  $M = M_\odot \rightarrow T \sim 10^{-8} K \ll T_{CMB} \sim 3 K \Rightarrow$  indetectable!

Si  $T \sim 3 K \rightarrow M?$

$$M \sim 10^{22} kg \sim 10^{-8} M_\odot$$

$R_S \sim 60 \mu m$  ! ¿Qué pasa con la gravedad?

# Efectos gravitacionales



## Efectos gravitacionales

Sabemos que  $\kappa = 1/4M \longrightarrow +M - \kappa !$

## Efectos gravitacionales

Sabemos que  $\kappa = 1/4M \rightarrow +M - \kappa !$

Pero  $R_S = 2M \rightarrow$  más grandes, menos *fuertes*!

# Efectos gravitacionales

Sabemos que  $\kappa = 1/4M \rightarrow +M - \kappa !$

Pero  $R_S = 2M \rightarrow$  más grandes, menos *fuertes*!

## Spaghetificación

Debido a las fuerzas de marea (tidales), cuando un objeto cae a un BH el mismo se *estira*.

# Efectos gravitacionales

Sabemos que  $\kappa = 1/4M \rightarrow +M - \kappa !$

Pero  $R_S = 2M \rightarrow$  más grandes, menos *fuertes*!

## Spaghetificación

Debido a las fuerzas de marea (tidales), cuando un objeto cae a un BH el mismo se *estira*.



\* <https://www.eso.org/public/videos/eso2018c/>

## Efectos gravitacionales

Supongamos que  $\rho = 3M/4\pi R_{\zeta}^3$

## Efectos gravitacionales

Supongamos que  $\rho = 3M/4\pi R_S^3 \longrightarrow$  si  $M = M_\odot$ ,  $\rho \sim 10^{19} \text{ kg/m}^3$

## Efectos gravitacionales

Supongamos que  $\rho = 3M/4\pi R_S^3 \rightarrow$  si  $M = M_\odot$ ,  $\rho \sim 10^{19} \text{ kg/m}^3$

¿Pero qué sucede para un BH supermasivo por ejemplo?

( $M \sim 10^{5-10} M_\odot$ ,  $R_S \sim \mathcal{O}(AU)$ )

## Efectos gravitacionales

Supongamos que  $\rho = 3M/4\pi R_S^3 \rightarrow$  si  $M = M_\odot$ ,  $\rho \sim 10^{19} \text{ kg/m}^3$

¿Pero qué sucede para un BH supermasivo por ejemplo?

( $M \sim 10^{5-10} M_\odot$ ,  $R_S \sim \mathcal{O}(AU)$ )

Supongamos  $M = 10^8 M_\odot \implies \rho \sim \rho_{\text{agua}} !!$

# Efectos gravitacionales

Supongamos que  $\rho = 3M/4\pi R_S^3 \rightarrow$  si  $M = M_\odot$ ,  $\rho \sim 10^{19} \text{ kg/m}^3$

¿Pero qué sucede para un BH supermasivo por ejemplo?  
( $M \sim 10^{5-10} M_\odot$ ,  $R_S \sim \mathcal{O}(AU)$ )

Supongamos  $M = 10^8 M_\odot \Rightarrow \rho \sim \rho_{\text{agua}} !!$

¿Conclusión?

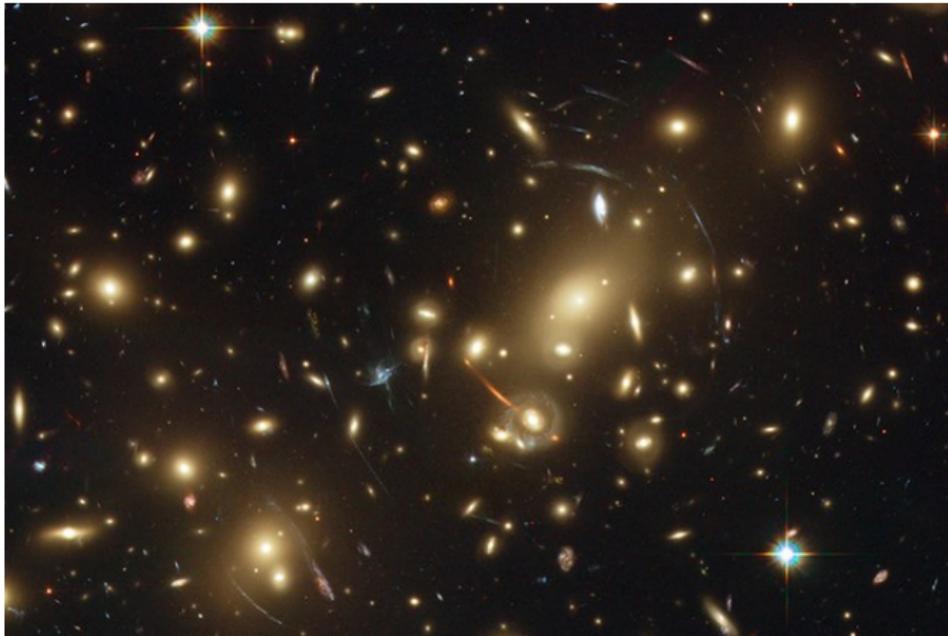


## Efectos gravitacionales

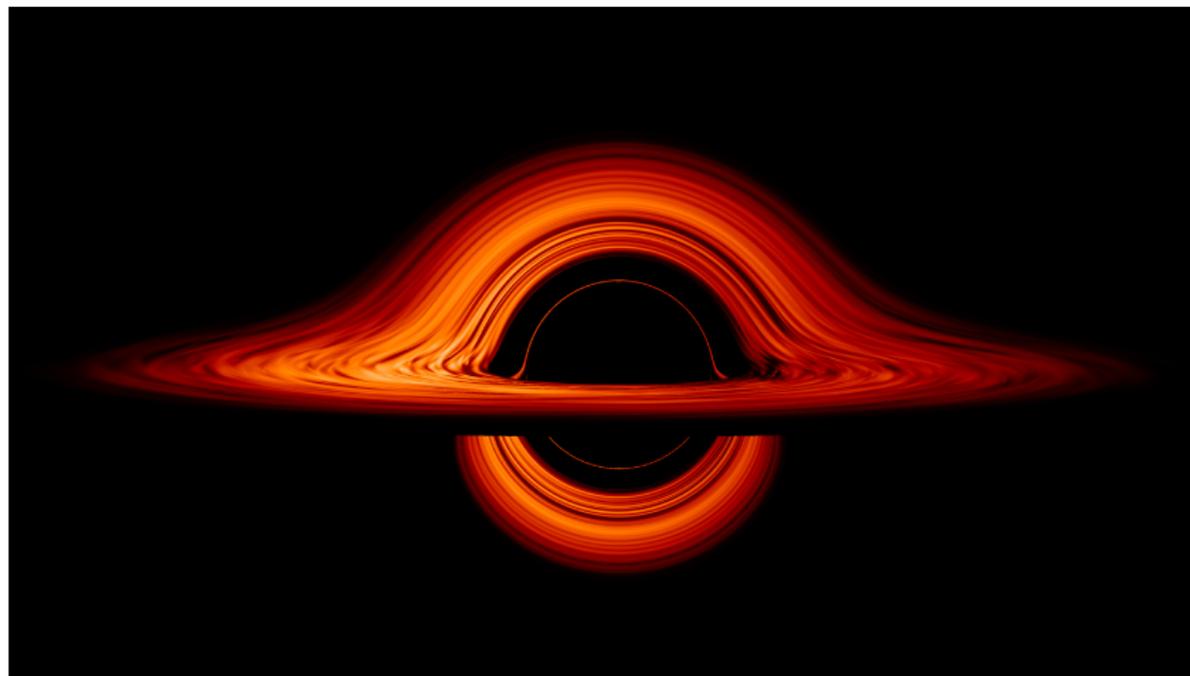
En realidad lo que nos importa son los **efectos gravitacionales**, aún cuando su densidad o radio sean pequeños, lo que nos interesa es su **gravedad**.

# Efectos gravitacionales

En realidad lo que nos importa son los **efectos gravitacionales**, aún cuando su densidad o radio sean pequeños, lo que nos interesa es su **gravedad**.



## Efectos gravitacionales



\* [https://www.youtube.com/watch?v=S6qw5\\_YA8iE&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=S6qw5_YA8iE&feature=youtu.be)

## Extras

- ▶ ¿Qué sucede con el tiempo cerca de un agujero negro? Charla de Gastón Giribet <https://www.youtube.com/watch?v=TiWCE0FFg3s>
- ▶ Jarzynski y agujeros negros ( $\langle \Delta S \rangle \geq 0$ ), <https://arxiv.org/pdf/1008.1184.pdf>