

Termodinámica de Agujeros Negros

Seba Gómez R

Doctorado en Matemática,
Universidad de Talca, Chile

January 28, 2017

Relatividad General (Einstein 1915)

Relatividad General (Einstein 1915)

- Principio de Equivalencia.

Agujeros negros clásicos

Agujeros negros clásicos

- Soluciones:
 - ▶ K. Schwarzschild 1916 (Solución en el vacío)

Agujeros negros clásicos

- Soluciones:
 - ▷ K. Schwarzschild 1916 (Solución en el vacío)
 - ▷ Reissner-Nordström 1918 (Solución en presencia de un campo electromagnético)

Agujeros negros clásicos

- Soluciones:
 - ▷ K. Schwarzschild 1916 (Solución en el vacío)
 - ▷ Reissner-Nordström 1918 (Solución en presencia de un campo electromagnético)
 - ▷ R. Kerr 1963 (Solución Rotante)

Agujeros negros clásicos

- Soluciones:
 - ▷ K. Schwarzschild 1916 (Solución en el vacío)
 - ▷ Reissner-Nordström 1918 (Solución en presencia de un campo electromagnético)
 - ▷ R. Kerr 1963 (Solución Rotante)
 - ▷ Bañados, Teitelboim y Zanelli 1992 (Solución en 3 dimensiones con $\Lambda < 0$)

Agujeros negros clásicos

- Soluciones:
 - ▷ K. Schwarzschild 1916 (Solución en el vacío)
 - ▷ Reissner-Nordström 1918 (Solución en presencia de un campo electromagnético)
 - ▷ R. Kerr 1963 (Solución Rotante)
 - ▷ Bañados, Teitelboim y Zanelli 1992 (Solución en 3 dimensiones con $\Lambda < 0$)
- El término **Agujero Negro** fue adoptado por John Archibald Wheeler en 1967.

Agujeros negros clásicos

- Soluciones:
 - ▷ K. Schwarzschild 1916 (Solución en el vacío)
 - ▷ Reissner-Nordström 1918 (Solución en presencia de un campo electromagnético)
 - ▷ R. Kerr 1963 (Solución Rotante)
 - ▷ Bañados, Teitelboim y Zanelli 1992 (Solución en 3 dimensiones con $\Lambda < 0$)
- El término **Agujero Negro** fue adoptado por John Archibald Wheeler en 1967.
- Teorema de no pelo: Caracterización de agujeros negros \longrightarrow Masa, Carga eléctrica, y Momento angular.

Agujeros negros clásicos

- Soluciones:
 - ▷ K. Schwarzschild 1916 (Solución en el vacío)
 - ▷ Reissner-Nordström 1918 (Solución en presencia de un campo electromagnético)
 - ▷ R. Kerr 1963 (Solución Rotante)
 - ▷ Bañados, Teitelboim y Zanelli 1992 (Solución en 3 dimensiones con $\Lambda < 0$)
- El término **Agujero Negro** fue adoptado por John Archibald Wheeler en 1967.
- Teorema de no pelo: Caracterización de agujeros negros \rightarrow Masa, Carga eléctrica, y Momento angular.
- En el año 1973, J. Bardeen, B. Carter y S. Hawking formularon un conjunto de cuatro leyes que gobiernan el comportamiento de lo agujeros negros. [*The four laws of black holes mechanics*, Commun. Math. Phys. **31**, 161 (1973)]

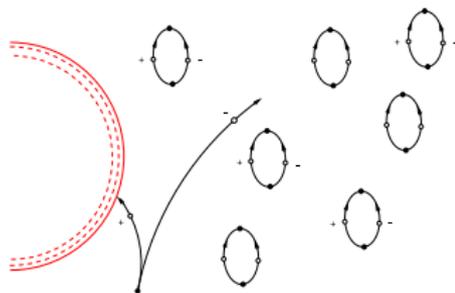
Termodinámica de Agujeros negros

Temperatura (Radiación de Hawking)

Termodinámica de Agujeros negros

Temperatura (Radiación de Hawking)

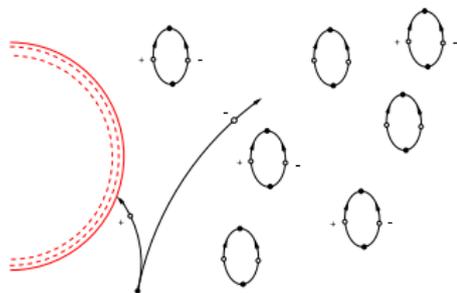
- La radiación de Hawking es un tipo de radiación producida en el horizonte de sucesos de un agujero negro y debida plenamente a efectos de tipo cuántico (partículas virtuales).



Termodinámica de Agujeros negros

Temperatura (Radiación de Hawking)

- La radiación de Hawking es un tipo de radiación producida en el horizonte de sucesos de un agujero negro y debida plenamente a efectos de tipo cuántico (partículas virtuales).



- Los agujeros negros tienen una temperatura bien definida conocida como la **Temperatura de Hawking** [S. W. Hawking, *Particle Creation by Black Holes*, Commun. Math. Phys. **43**, 199 (1975)]

$$T = \frac{\hbar c^3}{8\pi\kappa_B G M}$$

Termodinámica de Agujeros negros

Entropía(Bekenstein-Hawking)

Termodinámica de Agujeros negros

Entropía (Bekenstein-Hawking)

- Bekenstein: El área de un agujero negro es una medida de su entropía:

$$S \propto \frac{A}{L_p^2}$$

Una ecuación relativista, termodinámica, gravitatoria y cuántica a la vez.

Termodinámica de Agujeros negros

Entropía(Bekenstein-Hawking)

- Bekenstein: El área de un agujero negro es una medida de su entropía:

$$S \propto \frac{A}{L_p^2}$$

Una ecuación relativista, termodinámica, gravitatoria y cuántica a la vez.

- Contraargumento: Si el agujero negro tiene energía y entropía, entonces necesariamente debe tener temperatura.

Termodinámica de Agujeros negros

Entropía (Bekenstein-Hawking)

- Bekenstein: El área de un agujero negro es una medida de su entropía:

$$S \propto \frac{A}{L_p^2}$$

Una ecuación relativista, termodinámica, gravitatoria y cuántica a la vez.

- Contraargumento: Si el agujero negro tiene energía y entropía, entonces necesariamente debe tener temperatura.
- Hawking: Los agujeros negros se comportan realmente como objetos termodinámicos, apoyándose en la 1^{ra} ley de la termodinámica y en su expresión para la temperatura

Termodinámica de Agujeros negros

Entropía (Bekenstein-Hawking)

- Bekenstein: El área de un agujero negro es una medida de su entropía:

$$S \propto \frac{A}{L_p^2}$$

Una ecuación relativista, termodinámica, gravitatoria y cuántica a la vez.

- Contraargumento: Si el agujero negro tiene energía y entropía, entonces necesariamente debe tener temperatura.
- Hawking: Los agujeros negros se comportan realmente como objetos termodinámicos, apoyándose en la 1^{ra} ley de la termodinámica y en su expresión para la temperatura

$$S = \frac{A}{4 L_p^2}$$

Correspondencia AdS/CFT

Correspondencia AdS/CFT

- Espacio Anti de-Sitter: Corresponde a una solución a las ecuaciones de Einstein con constante cosmológica negativa (Espacio hiperbólico de curvatura constante).

Correspondencia AdS/CFT

- Espacio Anti de-Sitter: Corresponde a una solución a las ecuaciones de Einstein con constante cosmológica negativa (Espacio hiperbólico de curvatura constante).
- AdS/CFT es una equivalencia entre una teoría gravitatoria en un espacio AdS de dimensión D y una teoría cuántica de campos en dimensión menor.

Correspondencia AdS/CFT

- Espacio Anti de-Sitter: Corresponde a una solución a las ecuaciones de Einstein con constante cosmológica negativa (Espacio hiperbólico de curvatura constante).
- AdS/CFT es una equivalencia entre una teoría gravitatoria en un espacio AdS de dimensión D y una teoría cuántica de campos en dimensión menor.
- Existen sistemas físicos donde el tiempo y el espacio reescalán con distinto peso (escalamiento anisotrópico)

Correspondencia AdS/CFT

- Espacio Anti de-Sitter: Corresponde a una solución a las ecuaciones de Einstein con constante cosmológica negativa (Espacio hiperbólico de curvatura constante).
- AdS/CFT es una equivalencia entre una teoría gravitatoria en un espacio AdS de dimensión D y una teoría cuántica de campos en dimensión menor.
- Existen sistemas físicos donde el tiempo y el espacio reescalan con distinto peso (escalamiento anisotrópico)
- A través de esta correspondencia se relacionan con un espacio-tiempo donde este escalamiento corresponde a una isometría.

Correspondencia AdS/CFT

- Espacio Anti de-Sitter: Corresponde a una solución a las ecuaciones de Einstein con constante cosmológica negativa (Espacio hiperbólico de curvatura constante).
- AdS/CFT es una equivalencia entre una teoría gravitatoria en un espacio AdS de dimensión D y una teoría cuántica de campos en dimensión menor.
- Existen sistemas físicos donde el tiempo y el espacio reescalán con distinto peso (escalamiento anisotrópico)
- A través de esta correspondencia se relacionan con un espacio-tiempo donde este escalamiento corresponde a una isometría.
- Aquí, podemos obtener la entropía de agujeros negros en 3D a través de AdS/CFT, haciendo uso de una fórmula de Cardy que nos entrega la entropía para una teoría de campos 2D.

Correspondencia AdS/CFT

- Espacio Anti de-Sitter: Corresponde a una solución a las ecuaciones de Einstein con constante cosmológica negativa (Espacio hiperbólico de curvatura constante).
- AdS/CFT es una equivalencia entre una teoría gravitatoria en un espacio AdS de dimensión D y una teoría cuántica de campos en dimensión menor.
- Existen sistemas físicos donde el tiempo y el espacio reescalán con distinto peso (escalamiento anisotrópico)
- A través de esta correspondencia se relacionan con un espacio-tiempo donde este escalamiento corresponde a una isometría.
- Aquí, podemos obtener la entropía de agujeros negros en 3D a través de AdS/CFT, haciendo uso de una fórmula de Cardy que nos entrega la entropía para una teoría de campos 2D.
- Objetivo: Extender esta Fórmula de Cardy, y haciendo uso de esta correspondencia obtener la entropía de Agujeros negros en un espacio-tiempo con escalamiento anisotrópico.

¡Muchas gracias!