

Entropía y agujeros negros: la paradoja de la información en la segunda ley de la termodinámica

Entropy and black holes: the information paradox in the second law of the thermodynamics

Juan P. Soto-Flores ^a, Yeimi M. Aguilar-Brun ^b, Diego I. Godínez-Barríos ^c, Mara E. Jiménez-Cruz ^d, Joaquín E. Trejo-Palacios ^e

Abstract:

This study describes a conceptual map of the relationship between entropy and black holes, both fundamental concepts that allow us to understand the thermodynamics of the universe. It shows how black holes comply with the second law of thermodynamics when they increase their entropy by ingesting matter. It also includes the contribution of Stephen Hawking, who proved that they have a temperature and emit Hawking radiation while losing mass and energy. This leads us to the information paradox, an imbalance between the properties that can be attributed to a black hole and the fact that it cannot retain information about the matter it has trapped, which contradicts quantum laws. The article attempts to provide a clear and concise picture of this problem and its theoretical implications.

Keywords:

Entropy, Holes, Radiation, Information, Universe.

Resumen:

Este estudio describe un mapa conceptual sobre la relación entre la entropía y los agujeros negros, ambos conceptos básicos que nos permiten entender la termodinámica del universo. Se muestra cómo los agujeros negros cumplen con la segunda ley de la termodinámica cuando aumentan su entropía por la ingestión de materia. También incluye la contribución de Stephen Hawking, quien probó que tienen temperatura y emiten Radiación de Hawking perdiendo masa y energía. Nos lleva a la paradoja de la información, un desequilibrio entre las propiedades que se pueden atribuir a un agujero negro y el hecho de que no puede conservar información de la materia que ha atrapado, lo que contradice las leyes cuánticas. El artículo intenta proporcionar una imagen clara y concisa de este problema y sus implicaciones teóricas.

Palabras Clave:

Entropía, Agujeros, Radiación, Información, Universo.

Síntesis

El agujero negro es una región del espacio y el tiempo donde la gravedad es muy intensa; por consiguiente

la materia y la energía no pueden escapar. Este se compone de masa, temperatura y entropía.

La entropía es proporcional al horizonte de eventos donde su totalidad de un sistema aislado

^a Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior Tepeji del Río | Tepeji del Río de Ocampo-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0007-6065-8188>, Email: so442446@uaeh.edu.mx

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior Tepeji del Río | Tepeji del Río de Ocampo- Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0005-1899-9080>, Email: ag448815@uaeh.edu.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior Tepeji del Río | Tepeji del Río de Ocampo- Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0004-5452-2063> Email: go465667@uaeh.edu.mx

^d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior Tepeji del Río | Tepeji del Río de Ocampo- Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0007-0308-6777> Email: ji498108@uaeh.edu.mx

^e Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior Tepeji del Río | Tepeji del Río de Ocampo- Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-4296-9739> Email: tr393022@uaeh.edu.mx

nunca disminuye, esto lleva a que la segunda ley de la termodinámica se cumpla cuando un agujero negro absorbe materia y radiación, por consiguiente, su entropía empezará a aumentar.

El concepto conlleva a la radiación de Hawking que fue un gran descubrimiento. Stephen Hawking descubrió que los agujeros negros tienen carácter térmico y emiten radiación térmica debido a los efectos cuánticos del horizonte de eventos, por lo que provoca una pérdida gradual de masa y energía del agujero negro, donde finalmente el agujero negro se evapora por completo.

La Paradoja de la información, dice, que la información sobre la materia que entra en el agujero negro suele desaparecer, por lo tanto, esto contradice a dos principios; la segunda ley de la termodinámica y la Unitariedad de la mecánica cuántica que dice que la información no puede destruirse, por eso mismo hace que genere la contradicción con estas leyes de la física.

Referencias

- [1] S. Hollands, R. M. Wald, and V. G. Zhang, "Entropy of dynamical black holes," *Physical Review. D/Physical Review. D.*, vol. 110, no. 2, Jul. 2024, doi: 10.1103/physrevd.110.024070..
- [2] D.-C. Dai, D. Minic, and D. Stojkovic, "Bulk entropy is crucial to validate the second law of the extended black hole thermodynamics," *Journal of High Energy Physics*, vol. 2021, no. 12, Dec. 2021, doi: 10.1007/jhep12(2021)126.
- [3] R. M. Wald, "The thermodynamics of black holes," *Deleted Journal*, vol. 4, no. 1, Jul. 2001, doi: 10.12942/Irr-2001-6.
- [4] G. Bianconi, "The quantum relative entropy of the Schwarzschild black hole and the area law," *Entropy*, vol. 27, no. 3, p. 266, Mar. 2025, doi: 10.3390/e27030266.
- [5] I. Davies and H. S. Reall, "Nonperturbative second law of black hole mechanics in effective field theory," *Physical Review Letters*, vol. 132, no. 17, Apr. 2024, doi: 10.1103/physrevlett.132.171402.

