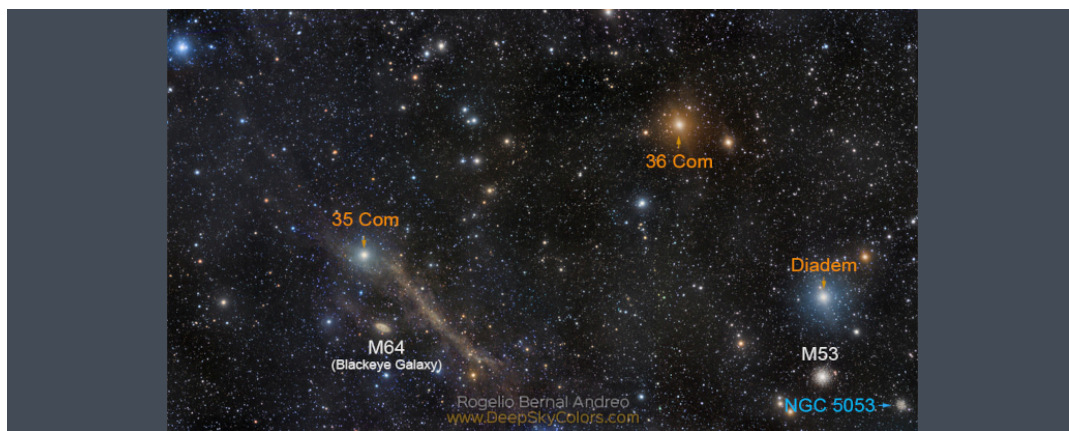


12/03/2025

La segunda ley de la termodinámica a escalas cosmológicas



En un universo en expansión acelerada, donde las galaxias se separan cada vez más rápidamente, ¿son válidas las leyes de la física más allá del sistema solar o de nuestra galaxia? Con datos observacionales de distintos momentos de la expansión del universo, el Departamento de Física ha estudiado si la segunda ley de la termodinámica, que afirma que la entropía del universo no puede disminuir, se cumple a escalas cosmológicas.

Observatorio.info - Rogelio Bernal Andreo (DeepSkyColors.com) <https://observatorio.info/2017/06/de-la-cadena-de-markarian-a-messier-64/>

A partir de unos seiscientos millones de años-luz el universo visible se muestra isótropo; es decir, se mire en la dirección que se mire no se advierte diferencia reseñable. Además, hay razones sólidas para creer que es homogéneo (todas las posiciones son equivalentes); en promedio no encontraríamos diferencia si observásemos el universo desde cualquier otra galaxia. Desde hace aproximadamente un siglo se conoce mediante la observación que el universo está en expansión (es decir, la distancia entre cada par de galaxias lejanas aumenta con el tiempo), y más recientemente se ha comprobado que el ritmo va aumentando: el universo está acelerando su expansión. Cabe preguntarse pues si las leyes de física siguen siendo válidas a esas enormes escalas, al igual que lo son a escalas terrestres, del sistema solar, o incluso de nuestra galaxia.

En un reciente artículo, "*Checking the second law at cosmic scales*", hemos estudiado esta cuestión en el caso de la segunda ley de la termodinámica (tan familiar a todos, al ser de experiencia multi-diaria). Dicha ley puede formularse diciendo que dados dos cuerpos en contacto entre sí y aislados del resto, uno caliente y otro frío, el calor pasa espontáneamente del primero al segundo hasta que sus temperaturas se igualan. Formulaciones más sofisticadas de esta ley suelen utilizar el concepto de entropía. La segunda ley aplicada a nuestro universo afirma que su entropía no puede disminuir. La mayor contribución a ella corresponde a la del horizonte cosmológico (la asociada a nuestro desconocimiento experimental de más allá del mismo) y es proporcional al área de éste. La contribución de las galaxias, radiación, agujeros negros, etcétera, a la entropía es enormemente inferior. En consecuencia, la segunda ley se cumplirá también a escalas cosmológicas si el área del horizonte no disminuye con el tiempo. Esto ocurrirá si el parámetro de desaceleración (el cual nos mide cuán acelerado está el universo) no es inferior al parámetro de curvatura espacial (que nos determina la curvatura del espacio a gran escala) menos la unidad. Ambos parámetros pueden estimarse a partir de datos suministrados por observación telescópica del ritmo de expansión a distintos momentos de ésta. Obviamente dichos datos vienen afectados por algún margen de error.

En nuestro trabajo hemos utilizado mil seiscientos sesenta y cuatro datos tomados a distintas épocas de la expansión por diversos grupos experimentales. Los errores que acompañan a estos datos los hemos reducido por un proceso de "suavizado" (método estadístico de uso muy frecuente en distintas ramas de la ciencia e industria). De ellos deducimos, también a distintas épocas, los parámetros mencionados más arriba encontrando que en ningún momento de la expansión el área del horizonte ha disminuido; más bien, al contrario, ha aumentado. En otras palabras, según nuestro estudio, la segunda ley de la termodinámica también se cumple a las mayores escalas del universo observable.

Diego Pavón

Departamento de Física
Universitat Autònoma de Barcelona

Narayan Banerjee

Departamento de Ciencias Físicas
Indian Institute of Science Education and Research

Purba Mukherjee

Unidad de Física y Matemáticas Aplicadas
Indian Statistical Institute

diego.pavon@uab.cat; narayan@iiserkol.ac.in; purba16@gmail.com

Referencias

N. Banerjee, P. Mukherjee & D. Pavón (2023) **Checking the second law at cosmic scales**. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 11, 092. <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2023/11/092>