

28/11/2023

Explorando el Universo: curvatura espacial y termodinámica



Un nuevo estudio de la UAB revela que la evolución del universo es más misteriosa de lo que se pensaba. Utilizando la segunda ley de la termodinámica y datos observacionales, investigadores del Departamento de Física han explorado la curvatura espacial del universo. Han determinado que tanto la curvatura nula, asociada a un universo plano, como la positiva (universo esférico) son consistentes con esta ley, pero la negativa (universo hiperbólico) aún plantea incertidumbres. Los resultados subrayan la complejidad de nuestro universo y la necesidad de seguir investigando para entender su verdadera naturaleza.

istock/Claudioventrella

A gran escala, el universo visible se muestra isótropo (sin dirección preferente aparente) y posiblemente sea homogéneo (se asume que todas las posiciones son equivalentes, es decir, en promedio observaríamos lo mismo desde nuestra galaxia que desde cualquier otra). Para describir su evolución utilizamos las tres coordenadas espaciales más el tiempo, considerando este último como una coordenada adicional.

Debido a la homogeneidad e isotropía del espacio, en cada instante, el universo debe tener una de tres geometrías posibles: plana, esférica o hiperbólica. El primer caso, su curvatura es cero, positiva en el segundo y negativa en el tercero. Actualmente, las observaciones indican que su valor absoluto es muy pequeño, pero no determinan cuál de esas

posibilidades es la real. Además, conviene saber que la evolución no modifica el signo de la curvatura.

En nuestro trabajo “Spatial curvature and Thermodynamics” recientemente publicado en la revista *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, exploramos la estrecha conexión entre gravitación y termodinámica para ver si haciendo uso de la segunda ley de la termodinámica es posible descartar alguna de esas tres posibilidades. Esta ley establece que la entropía del Universo no puede disminuir, lo que se traduce en una relación sencilla entre la tasa de cambio en la expansión del Universo, obtenida a través del análisis de las medidas observacionales en diferentes épocas, y la curvatura espacial. Es importante mencionar que la entropía del universo visible está ampliamente dominada por la entropía del horizonte, que está asociada a nuestro desconocimiento experimental debido a las limitaciones impuestas más allá del horizonte por la velocidad finita de la luz.

Hoy en día sabemos con casi total certeza que el ritmo de expansión del Universo ha disminuido con el tiempo casi desde sus inicios, y que actualmente está aumentando. Esto, junto con la relación mencionada anteriormente, nos permite fácilmente deducir que la curvatura nula y la positiva son consistentes con la segunda ley. Sin embargo, en el caso de la curvatura negativa (espacio hiperbólico), la situación es dudosa. En nuestro trabajo hemos utilizado la segunda ley junto con los datos observacionales (sesenta datos del ritmo de expansión del Universo en distintas épocas) para ver si esta se cumple en el caso de curvatura espacial negativa.

Antes de aplicar esta ley, tuvimos que refinar los datos mediante un proceso estadístico de “smoothing”, ya que estos vienen afectados por importantes errores experimentales significativos. A continuación, ajustamos cuatro parametrizaciones del mencionado ritmo en función del grado de expansión a los datos ya refinados. Posteriormente, estudiamos, teniendo en cuenta la entropía del horizonte, si la segunda ley se cumple en el caso de curvatura negativa. Nuestro resultado indica que también se cumple en este caso.

Por lo tanto, los datos actuales no son ni suficientemente abundantes ni de la debida calidad necesaria para poder determinar si la curvatura espacial negativa, al igual que las otras dos posibilidades, es asimismo permitida por la Naturaleza. Estas conclusiones sugieren que el universo es aún más enigmático de lo que pensamos y es necesario continuar investigando para comprender las nuevas preguntas sobre su evolución.

 Imagen gráfica representante de las tres geometrías del Universo; hiperbólica (open), plana (flat) y esférica (closed). [Fuente: Kant Mishra R. et al, 2010, DOI: [10.5539/jmr.v2n3p182](https://doi.org/10.5539/jmr.v2n3p182)]

Diego Pavón

Catedrático emérito de Física
Universitat Autònoma de Barcelona
Diego.pavon@uab.cat

Referencias

Narayan Banerjee, Purba Mukherjee, Diego Pavón, **Spatial curvature and thermodynamics**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 521, Issue 4, June 2023, Pages 5473–5482, <https://doi.org/10.1093/mnras/stad921>

[View low-bandwidth version](#)