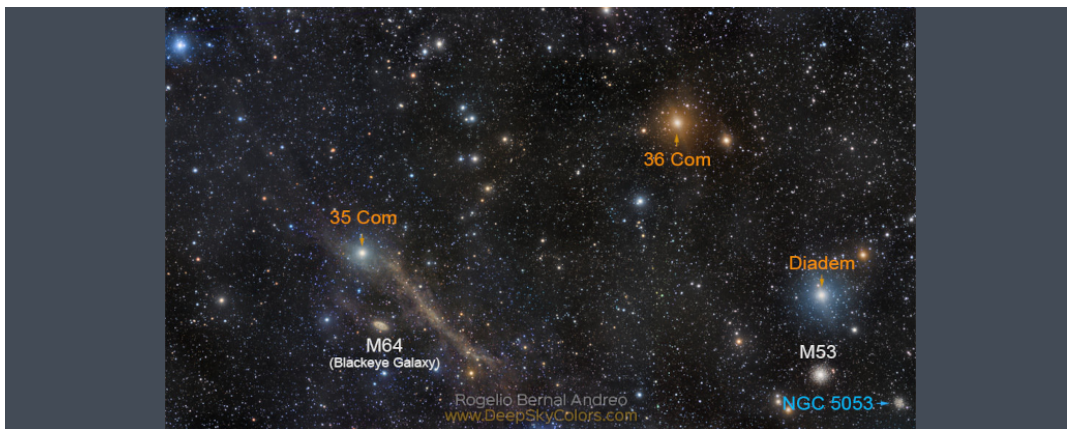


12/03/2025

La segona llei de la termodinàmica a escales cosmològiques



En un univers en expansió accelerada, on les galàxies se separen cada vegada més ràpidament, són vàlides les lleis de la física més enllà del sistema solar o de la nostra galàxia? Amb dades observacionals de diferents moments de l'expansió de l'univers, el Departament de Física ha estudiat si la segona llei de la termodinàmica, que afirma que l'entropia de l'univers no pot disminuir, es compleix a escales cosmològiques.

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

A partir d'uns sis-cents milions d'anys llum l'univers visible es mostra isòtrop, és a dir, es miri en la direcció que es miri no s'adverteix cap diferència destacable. A més a més, hi ha raons sòlides per a creure que és homogeni (totes les posicions són equivalents); de mitjana, no trobaríem diferència si observéssim l'univers des de qualsevol altra galàxia. Des de fa aproximadament un segle es coneix a través de l'observació que l'univers està en expansió (és a dir, la distància entre cada parella de galàxies llunyanes augmenta amb el temps), i més recentment s'ha comprovat que el ritme va augmentant: l'univers està accelerant la seva expansió. En aquest context, cal preguntar-se si les lleis de la física encara són vàlides a aquestes enormes escales, de la mateixa manera que ho són a l'escala terrestre, del sistema solar o, fins i tot, la nostra galàxia.

En un article recent, “*Checking the second law at cosmic scales*”, hem estudiat aquesta qüestió en el cas de la segona llei de la termodinàmica (tant familiar per a tothom, ja que es tracta d’una experiència multidiària). Aquesta llei pot formular-se de la següent manera: donats dos cossos en contacte entre si i aïllats de la resta, un calent i un altre fred, la calor passa espontàniament del primer al segon fins que les seves temperatures s’igualen. Les formulacions més sofisticades d’aquesta llei solen utilitzar el concepte d’entropia. La segona llei aplicada al nostre univers afirma que la seva entropia no pot disminuir. La major contribució a aquesta es deu a l’entropia de l’horitzó cosmològic (l’associada al nostre desconeixement experimental de més enllà del mateix) i és proporcional a l’àrea d’aquest. La contribució de les galàxies, radiació, forats negres, etcètera, a l’entropia és enormement inferior. En conseqüència, la segona llei de la termodinàmica es complirà també a escales cosmològiques si l’àrea de l’horitzó no disminueix amb el temps. Això tindria lloc si el paràmetre de desacceleració (que mesura quant accelerat està l’univers) no és inferior al paràmetre de la curvatura espacial (que determina la curvatura de l’espai a gran escala) menys la unitat. Ambdós paràmetres poden estimar-se a partir de dades subministrades per l’observació telescòpica del ritme d’expansió a diferents moments d’aquesta. Òbviament, aquestes dades estan afectades per un marge d’error.

En el nostre treball hem utilitzat mil sis-centes seixanta-quatre dades preses a diferents èpoques de l’expansió per diversos grups experimentals. Els errors que acompanyen aquestes dades els hem reduït per un procés de “suavitzat” (un mètode estadístic d’ús molt freqüent en diferents branques de la ciència i la indústria). D’aquestes dades deduïm, també per les diferents èpoques, els paràmetres esmentats anteriorment i els resultats indiquen que en cap moment de l’expansió l’àrea de l’horitzó ha disminuït; més aviat al contrari, ha augmentat. En altres paraules, segons el nostre estudi, la segona llei de la termodinàmica també es compleix a les majores escales de l’univers observable.

Diego Pavón

Departament de Física
Universitat Autònoma de Barcelona

Narayan Banerjee

Departament de Ciències Físiques
Indian Institute of Science Education and Research

Purba Mukherjee

Unitat de Física i Matemàtiques Aplicades
Indian Statistical Institute

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

Referències

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>