

28/11/2023

## Explorant l'Univers: curvatura espacial i termodinàmica



Un nou estudi de la UAB revela que l'evolució de l'univers és més misteriosa del que es pensava. Utilitzant la segona llei de la termodinàmica i les dades observacionals, investigadors del Departament de Física han explorat la curvatura espacial de l'univers. Han determinat que tant la curvatura nul·la, associada a un univers pla, com la positiva (univers esfèric) són consistents amb aquesta llei, però la negativa (univers hiperbòlic) encara planteja incerteses. Els resultats subratllen la complexitat del nostre univers i la necessitat de continuar investigant per entendre la seva veritable naturalesa.

istock/Claudioventrella

A gran escala, l'univers visible es mostra isòtrop (sense direcció preferent aparent) i possiblement sigui homogeni (s'assumeix que totes les posicions són equivalents, és a dir, de mitjana observaríem el mateix des de la nostra galàxia que des de qualsevol altra). Per descriure la seva evolució utilitzem les tres coordenades espacials més el temps, considerant aquest darrer com una coordenada addicional.

A causa de l'homogeneïtat i la isotropia de l'espai, a cada instant, l'univers ha de tenir una de tres geometries possibles: plana, esfèrica o hiperbòlica. El primer cas, la seva curvatura és zero, positiva al segon i negativa al tercer. Actualment, les observacions indiquen que el seu valor absolut és molt petit, però no determinen quina és la real. A més, cal saber que l'evolució no modifica el signe de la curvatura.

En el nostre treball “Spatial curvature and Thermodynamics” recentment publicat a la revista *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, explorem la connexió estreta entre gravitació i termodinàmica per veure si fent ús de la segona llei de la termodinàmica és possible descartar alguna d'aquestes tres possibilitats. Aquesta llei estableix que l'entropia de l'Univers no pot disminuir, cosa que es tradueix en una relació senzilla entre la taxa de canvi a l'expansió de l'Univers, obtinguda a través de l'anàlisi de les mesures observacionals en diferents èpoques, i la curvatura espacial. És important esmentar que l'entropia de l'univers visible està dominada àmpliament per l'entropia de l'horitzó, que està associada al nostre desconeixement experimental a causa de les limitacions imposades més enllà de l'horitzó per la velocitat finita de la llum.

Avui sabem amb gairebé total certesa que el ritme d'expansió de l'Univers ha disminuït amb el temps gairebé des dels seus inicis, i que actualment està augmentant. Això, juntament amb la relació esmentada anteriorment, ens permet fàcilment deduir que la curvatura nul·la i la positiva són consistents amb la segona llei. Tot i això, en el cas de la curvatura negativa (espai hiperbòlic), la situació és dubtosa. A la nostra feina hem utilitzat la segona llei juntament amb les dades observacionals (seixanta dades del ritme d'expansió de l'Univers en diferents èpoques) per veure si aquesta es compleix en el cas de curvatura espacial negativa.

Abans d'aplicar aquesta llei, vam haver de refinar les dades mitjançant un procés estadístic de “smoothing”, ja que vénen afectats per importants errors experimentals significatius. A continuació, vam ajustar quatre parametritzacions del ritme esmentat en funció del grau d'expansió a les dades ja refinades. Posteriorment, vam estudiar, tenint en compte l'entropia de l'horitzó, si la segona llei es compleix en cas de curvatura negativa. El nostre resultat indica que també es compleix aquest cas.

Per tant, les dades actuals no són ni prou abundants ni de la deguda qualitat necessària per poder determinar si la curvatura espacial negativa, igual que les altres dues possibilitats, és així mateix permesa per la Natura. Aquestes conclusions suggereixen que l'univers encara és més enigmàtic del que pensem i cal continuar investigant per comprendre les noves preguntes sobre la seva evolució.



imatge Representació gràfica de les tres geometries de l'Univers; hiperbòlica (open), plana (flat) i esfèrica (closed). [Font: Kant Mishra R. et al, 2010, DOI:[10.5539/jmr.v2n3p182](https://doi.org/10.5539/jmr.v2n3p182)]

### Diego Pavón

Catedràtic emèrit de Física  
Universitat Autònoma de Barcelona  
[Diego.pavon@uab.cat](mailto:Diego.pavon@uab.cat)

### Referències

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>