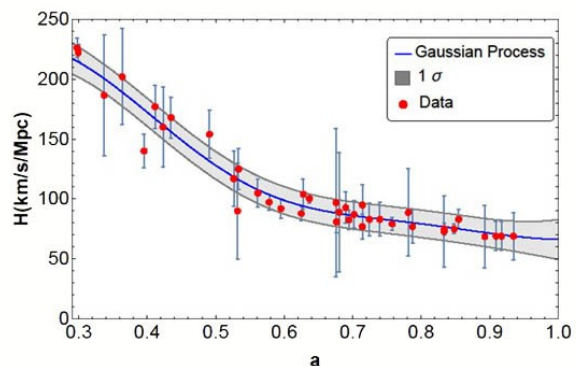


17/10/2019

## Segueix sent vàlida la segona llei de la termodinàmica a escales còsmiques?



Segons les lleis de la Termodinàmica, el comportament dels sistemes en els quals la gravetat no hi juga un paper important arribarà a un equilibri termodinàmic i no variarà mentre no sigui pertorbat externament. En aquest article es qüestiona si aquestes lleis termodinàmiques segueixen sent vàlides en sistemes a gran escala o a escales còsmiques, on la gravetat hi juga un paper important.

Dades observacionals de l'evolució del factor d'Hubble i aproximació estadística a l'evolució mitjana.

La Termodinàmica, la branca de la Física que s'ocupa de l'intercanvi d'energia entre cossos a causa exclusivament de la seva diferència de temperatures, es basa en tres lleis formulades després de l'estudi del comportament de sistemes en els quals la gravetat no juga un paper rellevant. Aquestes lleis, especialment la segona (la llei de l'entropia), governen l'evolució dels sistemes cap a l'equilibri termodinàmic. Després d'aconseguir aquest equilibri, el sistema roman en ell (la seva temperatura, pressió, etc., no canvien) mentre no sigui pertorbat externament. Segons aquesta llei, l'entropia de tot sistema aïllat no disminueix amb el temps.

En sistemes dominats per la gravetat, com és el cas de forats negres, les lleis de la termodinàmica (tal com van mostrar Hawking, Bekenstein i Israel), encara subsisteixen. Això sembla també cert per galàxies i cúmuls de galàxies. No obstant això, aquestes escales, tot i ser

enormes comparades amb les terrestres, són només de mida astrofísica, no còsmica. Per aquest motiu ens plantegem si les lleis de la termodinàmica segueixen sent vàlides a gran escala; és a dir, a escales de l'univers. En realitat, no sabem com de gran pot ser l'univers. Ens hem de limitar doncs a tractar amb formats no majors que la distància recorreguda per la llum des que l'univers va començar a expansionar-se. Aquesta distància, coneguda com el radi de l'horitzó de Hubble, és l'invers del ritme actual d'expansió multiplicat per la velocitat de la llum. Ja que no podem tenir informació del que passa més enllà de l'horitzó (res viatja més ràpid que la llum), l'àrea de l'horitzó és la mesura de l'entropia de l'univers visible (d'aquella part del mateix del qual podem rebre informació).

El nostre treball intenta contestar la qüestió plantejada anteriorment recordant que l'entropia de l'horitzó és proporcional a l'àrea del mateix i que, al seu torn, aquesta és proporcional al quadrat de l'invers del ritme d'expansió de l'univers (l'invers del factor d'Hubble al quadrat). Vam utilitzar 39 mesures, obtingudes per diversos investigadors, del factor d'Hubble a diferents èpoques de l'univers, des que la mida de l'univers visible era aproximadament un terç de la seva mida actual fins al moment present. Aquestes dades mostren que l'entropia de l'horitzó augmenta a mesura que l'univers s'expandeix i que, a la llarga (en el futur llunyà), tendeix a un valor constant. Ja que l'entropia de l'horitzó té molts ordres de magnitud més grans que l'entropia total de tots els objectes dins de l'horitzó (galàxies, forats negres, radiació còsmica, etc.), podem afirmar que l'univers tendeix a un estat d'equilibri (tècnicament, a un estat de màxima entropia) i per tant satisfà la llei de l'entropia. En altres paraules, la segona llei de la termodinàmica sembla regir també a escales còsmiques.

### **Diego Pavón**

Àrea de Física de la Matèria Condensada

Departament de Física

Universitat Autònoma de Barcelona

[Diego.Pavon@uab.cat](mailto:Diego.Pavon@uab.cat)

### **Referències**

Gonzalez-Espinoza, Manuel & Pavon, Diego. (2019). **Does the second law hold at cosmic scales?** *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 484, pp 2924-2930. DOI: [201910.1093/mnras/stz188](https://doi.org/10.1093/mnras/stz188).

[View low-bandwidth version](#)