

professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e *visiting professor* alla Cornell University di Ithaca (New York)



L'entropia dell'universo

Secondo Roger Penrose nell'universo rimarranno quasi solo fotoni, in uno stato di massima entropia

Le unità del vecchio sistema di misura MKS (metro, chilogrammo e secondo) erano definite prendendo a riferimento alcune caratteristiche contingenti della Terra: la lunghezza dell'Equatore, il peso di una quantità d'acqua e la durata del giorno. Le unità del più moderno sistema di Planck sono invece definite prendendo a riferimento alcune caratteristiche assolute dell'universo: la costante di gravitazione universale di Newton, la costante elettrica di Coulomb, la velocità della luce, la costante termodinamica di Boltzmann e il quanto d'azione di Planck.

In pratica, il tempo di Planck è circa 10^{-44} secondi. La lunghezza di Planck è 10^{20} volte più piccola di un protone. La massa di Planck è pari a un uovo di pulce, o a 10^{19} protoni. La carica di Planck è 12 volte minore di quella di un elettrone o di un protone. La temperatura di Planck, infine, è circa 10^{32} gradi, e un corpo che la raggiungesse emetterebbe radiazioni della lunghezza di Planck.

Un numero ricorrente

Non sembra esserci nessuna struttura particolare in questi numeri, espressi nel sistema MKS, ma qualcosa di significativo emerge quando si esprimono invece le caratteristiche dell'universo nelle unità di Planck. In tal caso, infatti, si scopre un numero magico pari a circa 10^{61} , che misura l'età dell'universo in tempi di Planck, il diametro dell'universo in lunghezze di Planck, la sua massa in masse di Planck, e l'inverso del quadrato della sua temperatura in temperature di Planck.

Quanto all'entropia dell'universo, essa ovviamente dipende da due fattori. Anzitutto, la sua unità di misura, la più naturale delle quali è la costante di Boltzmann, che in tal caso diventa uguale a 1. E poi, il momento in cui la si misura, visto che l'entropia è una funzione del tempo.

La forte isotropia della radiazione cosmica di fondo mostra che poco dopo il big bang

l'universo si trovava in uno stato di quasi massima entropia termodinamica, misurata dal numero di fotoni presenti, che erano in rapporto di circa dieci miliardi per ogni protone. Ora, poiché la massa dell'universo è pari a circa 10^{61} masse di Planck, e una massa di Planck equivale a 10^{19} protoni, il numero di protoni dell'universo è circa 10^{80} , e l'entropia termodinamica dell'universo agli inizi era dunque pari a circa 10^{90} .

La fine di un eone

Per calcolare l'entropia gravitazionale dell'universo attuale, notiamo che la massa della Via Lattea è quasi totalmente concentrata al suo centro, in un buco nero supermassivo di massa pari a quattro milioni di volte quella del Sole. Ora, l'entropia di un buco nero avente la massa del Sole è 10^{77} , e cresce con il quadrato della massa: l'entropia della Via Lattea è dunque 10^{12} volte maggiore, e pari a 10^{89} . Supponendo che la Via Lattea sia una galassia media, dal fatto che le galassie dell'universo sono 10^{11} segue che l'entropia dell'universo attuale è dell'ordine di 10^{100} .

Poiché la massa dell'universo tende a concentrarsi in buchi neri sempre più massivi, alla fine del tempo ne rimarrà solo uno gigante, con una massa il cui quadrato è la somma dei quadrati delle masse dei buchi neri al centro delle 10^{11} galassie: pari, dunque, a 10^{23} . L'entropia gravitazionale, che cresce appunto con il quadrato della massa, passerà allora dal 10^{100} attuale al 10^{123} finale.

Nel libro *Dal Big Bang all'eternità* (2010) il premio Nobel per la fisica Roger Penrose ha suggerito che alla fine nell'universo rimarranno quasi soltanto fotoni, in uno stato di massima entropia termodinamica simile a quello dell'inizio. E poiché i fotoni viaggiano alla velocità della luce, il tempo si fermerà e l'universo potrà ripartire da zero in un nuovo big bang, per un altro ciclo (che Penrose chiama eone) della sua storia.