Divulga UAB

Revista de difusió de la recerca de la Universitat Autònoma de Barcelona

05/10/2026

# Amb quina rapidesa pot la natura assolir l'equilibri?



Un nou estudi del Grup d'Informació Quàntica (GIQ) del Departament de Física de la UAB, juntament amb col·laboradors de Viena i de Ginebra, mostra que la mecànica quàntica estableix un límit fonamental a la rapidesa amb què els sistemes físics poden assolir l'equilibri tèrmic.

istock/iHumnoi

La termalització és el procés pel qual els sistemes físics assoleixen l'equilibri tèrmic, i és un dels fenòmens més universals de la natura. Si es posa un got de llet a la nevera i es deixa allà prou temps, acabarà assolint la mateixa temperatura que el seu entorn, independentment del seu estat microscòpic inicial, incloent-hi la seva temperatura, la disposició molecular o incomptables altres detalls.

Aquesta tendència dels sistemes físics a oblidar els detalls microscòpics i convergir cap a simples estats d'equilibri ha fascinat els físics durant segles. Tot i que un got de llet conté un nombre astronòmic de partícules, el seu estat d'equilibri es pot descriure amb només unes poques magnituds macroscòpiques, com la temperatura, la pressió i el volum. Aquesta simplificació extraordinària és al cor de la termodinàmica, una de les teories més existoses de la ciència.

Però, què determina quant triga un sistema a assolir l'equilibri? Hi ha algun límit fonamental

a la rapidesa amb què pot produir-se la termalització?

En un treball recent, Martí Perarnau-Llobet i John Calsamiglia, del Grup d'Informació Quàntica (GIQ) de la Universitat Autònoma de Barcelona, juntament amb col·laboradors de l'Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI Vienna), la TU Wien i la Universitat de Ginebra, han demostrat que la resposta és afirmativa.

La mecànica quàntica és coneguda per fer possibles fenòmens exòtics com l'entrellaçament o la computació quàntica. Menys apreciat és el fet que també imposa restriccions sobre allò que els processos físics poden aconseguir. Els investigadors mostren que aquestes restriccions impliquen un límit fonamental a la velocitat de la termalització.

L'escala de temps rellevant és l'anomenat temps de dissipació de Planck, $\tau_{Pl} = \hbar/(k_B T)$, on $\hbar$ és la constant de Planck reduïda i $k_B T$ marca l'escala d'energia tèrmica. Com més calent és un sistema, més ràpid pot, en principi, assolir l'equilibri.

A temperatura ambient, $\tau_{Pl}$ és d'uns 25 femtosegons, comparable als moviments moleculars més ràpids. En els gasos atòmics ultrafreds, a només uns pocs nanokelvin per sobre del zero absolut, s'allarga fins a diversos mil·lisegons i es pot mesurar directament en experiments.

Des de fa més de dues dècades, els físics sospiten que $\tau_{Pl}$ marca una escala de temps mínima i universal per a la termalització, a partir d'observacions en materials com els superconductors d'alta temperatura. Tanmateix, demostrar aquest límit ha resultat sorprenentment difícil. Si es coneix per endavant l'hamiltonià d'un sistema —l'objecte matemàtic que determina la seva dinàmica microscòpica—, es pot preparar un estat tèrmic concret amb la rapidesa que es vulgui. Per tant, preguntar-se simplement amb quina rapidesa es pot preparar un estat tèrmic no n'hi ha prou per establir un límit universal.

El nou treball aborda el problema des d'una perspectiva diferent. Els investigadors consideren una hipotètica màquina de termalitzar que ha d'obeir la mecànica quàntica i termalitzar amb èxit sistemes governats per diferents hamiltonians possibles. Això reflecteix la universalitat de la termalització que observem en la vida quotidiana: un cafè posat a la nevera acaba assolint l'equilibri independentment de la manera exacta com interactuen les seves molècules entre elles.

Fent servir eines de la metrologia quàntica, la ciència d'estimar amb precisió paràmetres físics, els investigadors mostren que cap màquina d'aquest tipus pot determinar quin hamiltonià governa un sistema amb una rapidesa arbitrària. Aquesta limitació es tradueix directament en un temps mínim de termalització, essencialment igual a la meitat de l'escala de temps de Planck.

El resultat mostra que el límit de Planck no és una peculiaritat de materials concrets ni de models teòrics particulars. Al contrari, emergeix com una conseqüència fonamental de la pròpia mecànica quàntica. La natura pot ser extraordinàriament eficient a l'hora d'esborrar detalls microscòpics i portar els sistemes cap a l'equilibri, però fins i tot aquest procés no pot passar amb una rapidesa arbitrària.

**Martí Perarnau i John Calsamiglia**

Departament de Física
Universitat Autònoma de Barcelona

## Referències

Abiuso, P., Rolandi, A., Calsamiglia, J. *et al.* **An information-theoretic proof of the Planckian bound for thermalization**. *Nat. Phys.* (2026). https://doi.org/10.1038/s41567-026-03397-y

View low-bandwidth version