Divulga UAB

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

05/10/2026

¿Con qué rapidez puede la naturaleza alcanzar el equilibrio?



Un nuevo estudio del Grup d'Informació Quàntica (GIQ) del Departamento de Física de la UAB, junto con colaboradores de Viena y Ginebra, muestra que la mecánica cuántica establece un límite fundamental a la rapidez con la que los sistemas físicos pueden llegar al equilibrio térmico.

istock/iHumnoi

La termalización es el proceso por el cual los sistemas físicos alcanzan el equilibrio térmico, y es uno de los fenómenos más universales de la naturaleza. Si se coloca un vaso de leche en la nevera y se deja allí el tiempo suficiente, acabará alcanzando la misma temperatura que su entorno, independientemente de su estado microscópico inicial, incluyendo su temperatura, la disposición molecular o incontables otros detalles.

Esta notable tendencia de los sistemas físicos a olvidar los detalles microscópicos y converger hacia sencillos estados de equilibrio ha fascinado a los físicos durante siglos. Aunque un vaso de leche contiene un número astronómico de partículas, su estado de equilibrio puede describirse con unas pocas magnitudes macroscópicas, como la temperatura, la presión y el volumen. Esta simplificación extraordinaria está en el corazón de la termodinámica, una de las teorías de más éxito de la ciencia.

Pero, ¿qué determina cuánto tarda un sistema en alcanzar el equilibrio? ¿Existe un límite fundamental a la rapidez con la que puede producirse la termalización?
En un trabajo reciente, Martí Perarnau-Llobet y John Calsamiglia, del Grup d'Informació Quàntica (GIQ) de la Universitat Autònoma de Barcelona, junto con colaboradores del Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI Vienna), la TU Wien y la Universidad de Ginebra, han demostrado que la respuesta es afirmativa.

La mecánica cuántica es conocida por hacer posibles fenómenos exóticos como el entrelazamiento o la computación cuántica. Menos apreciado es el hecho que también impone restricciones sobre lo que los procesos físicos pueden lograr. Los investigadores muestran que estas restricciones implican un límite fundamental a la velocidad de la termalización.

La escala de tiempo relevante es el llamado tiempo de disipación de Planck, $\tau_{Pl} = \hbar/(k_B T)$, donde $\hbar$ es la constante de Planck reducida y $k_B T$ marca la escala de energía térmica. Cuanto más caliente es un sistema, más rápido puede, en principio, alcanzar el equilibrio.

A temperatura ambiente, τ_{Pl} es de unos 25 femtosegundos, comparable a los movimientos moleculares más rápidos. En los gases atómicos ultrafríos, a solo unos pocos nanokelvin por encima del cero absoluto, se alarga hasta varios milisegundos y puede medirse directamente en experimentos.

Desde hace más de dos décadas, los físicos sospechan que τ_{Pl} marca una escala de tiempo mínima y universal para la termalización, a partir de observaciones en materiales como los superconductores de alta temperatura. Sin embargo, demostrar este límite ha resultado sorprendentemente difícil. Si se conoce de antemano el hamiltoniano de un sistema —el objeto matemático que determina su dinámica microscópica—, se puede preparar un estado térmico concreto con la rapidez que se desee. Por lo tanto, simplemente preguntarse con qué rapidez se puede preparar un estado térmico no basta para establecer un límite universal.

El nuevo trabajo aborda el problema desde una perspectiva diferente. Los investigadores consideran una hipotética máquina de termalizar que debe obedecer la mecánica cuántica y termalizar con éxito sistemas gobernados por distintos hamiltonianos posibles. Esto refleja la universalidad de la termalización que observamos en la vida cotidiana: un café colocado en la nevera acaba alcanzando el equilibrio independientemente de la manera exacta en que sus moléculas interactúan entre sí.

Usando herramientas de la metrología cuántica, la ciencia de estimar con precisión parámetros físicos, los investigadores muestran que ninguna máquina de este tipo puede determinar qué hamiltoniano gobierna un sistema con una rapidez arbitraria. Esta limitación se traduce directamente en un tiempo mínimo de termalización, esencialmente igual a la mitad de la escala de tiempo de Planck.

El resultado muestra que el límite de Planck no es una peculiaridad de materiales concretos ni de modelos teóricos particulares. Al contrario, emerge como una consecuencia fundamental de la propia mecánica cuántica. La naturaleza puede ser extraordinariamente eficiente a la hora de borrar detalles microscópicos y llevar los sistemas hacia el equilibrio, pero incluso este proceso no puede ocurrir con una rapidez arbitraria.

Martí Perarnau i John Calsamiglia
Departamento de Física
Universitat Autònoma de Barcelona

Referencias

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