



La geometría de la red óptica induce fluctuaciones anómalas en los condensados de Bose-Einstein

Las fluctuaciones se encuentran en el núcleo de nuestro universo, desde en transiciones de fase térmicas hasta en la evolución cósmica. Los científicos estudian estas fluctuaciones utilizando condensados de Bose-Einstein (BEC), cuyo número de átomos fluctúa de manera natural a lo largo del tiempo.

En un nuevo estudio publicado en *Physical Review Letters*, investigadores del ICFO y colaboradores han investigado, por primera vez, las fluctuaciones en el número de partículas en un BEC situado en una red óptica triangular. Combinando modelado teórico y mediciones experimentales, el equipo observó fluctuaciones fuertemente anómalas, demostrando así el papel central que juega la geometría de la red. Estos resultados profundizan nuestra comprensión de las fluctuaciones del número de átomos en los BEC.

February 25, 2026

Las fluctuaciones son fundamentales en los sistemas físicos, impulsando transiciones de fase y limitando el control de los sistemas cuánticos. Por ello, no resulta sorprendente que los científicos estén tan interesados en estudiarlas. Una de las plataformas más adecuadas son los condensados de Bose-Einstein atómicos, donde un gran número de átomos ocupa el estado de menor energía y exhibe de forma natural fluctuaciones intrigantes.

Un artículo reciente en *Physical Review Letters* presenta la primera investigación sobre las fluctuaciones del número de partículas en **un BEC integrado en una red óptica**. Al combinar la especialización teórica del Donostia International Physics Center en San Sebastián (España), la Universidad Adam Mickiewicz en Poznań (Polonia) y los investigadores del ICFO, el **Dr. Zahra Jalali-Mola** y el **Dr. Utso Bhattacharya**, dirigidos por el **Prof. ICREA Maciej Lewenstein**, con el apoyo experimental de la Universidad de Hamburgo y la Universidad Técnica de Dortmund en Alemania, el equipo pudo observar **fluctuaciones fuertemente anómalas en el número de átomos del condensado**, al tiempo que reveló que **el confinamiento en la red influye profundamente en dichas fluctuaciones**.

A diferencia de trabajos previos sobre BEC continuos, donde los átomos se mueven libremente dentro de una trampa armónica, el estudio actual atrapa los átomos en puntos discretos que forman un patrón triangular mediante una red óptica. La red se combina con un potencial armónico tridimensional, que confina los átomos en cada sitio de la red a lo largo de regiones alargadas, con forma de tubos.

Esta geometría altera la manera en que los átomos se mueven e interactúan, provocando que las fluctuaciones escalen de manera inusual con el número total de partículas, afirma el Prof. Christof Weitenberg de la Universidad Técnica de Dortmund, autor principal del artículo.

Para observar este efecto, el equipo experimental enfrió, atrapó y volcó átomos de rubidio en la red. Variando la temperatura y el número inicial de átomos, los investigadores monitorizaron la transición de fase desde un gas normal hasta un BEC. Posteriormente utilizaron microscopía de ondas de materia para obtener imágenes del condensado y determinar el número de átomos, la temperatura y la fracción condensada. En paralelo al ICFO, el Donostia International Physics Center y la Universidad Adam Mickiewicz lideraron el esfuerzo teórico, realizando simulaciones numéricas que combinaron dos marcos teóricos distintos, cuyos resultados coincidieron satisfactoriamente con las observaciones experimentales.

Según el primer autor, el Dr. Zahra Jalali-Mola, estos resultados avanzan sustancialmente nuestra comprensión del papel de las interacciones y de la geometría del confinamiento en las fluctuaciones del condensado. Esto nos acerca un paso más a revelar nuevos fenómenos cuánticos de muchos cuerpos en sistemas de redes y, a largo plazo

podria permitir aplicaciones en metrologia c

Referencia:

Zahra Jalali-Mola, et. al., Anomalous fluctuations of Bose-Einstein condensates in optical lattices, *Phys. Rev. Lett.* **136**, 083401 (2026)

DOI: <https://doi.org/10.1103/95pq-6r5g>

Agradecimientos:

This work was funded by Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) via Research Unit FOR 5688, Project No. 521530974, and via the cluster of excellence AIM, EXC 2056-project ID 390715994 as well as by 'Hamburg Quantum Computing', financed by the city of Hamburg and the European Union. U.B. acknowledges financial support of the IBM Quantum Researcher Program. R.W.C. acknowledges support from the Polish National Science Centre (NCN) under Maestro Grant No. DEC-2019/34/A/ST2/00081. T.G. acknowledges funding by the Department of Education of the Basque Government through the IKUR Strategy, through BasQ (project EMISGALA), and through PIBA_2023_1_0021 (TENINT), as well as by the Agencia Estatal de Investigacion (AEI) through Proyectos de Generacion de Conocimiento PID2022-142308NA-I00 (EXQUSMI), and that this work has been produced with the support of a 2023 Leonardo Grant for Researchers in Physics, BBVA Foundation. ICFO-QOT group acknowledges support from: European Research Council AdG NOQIA; MCIN/AEI (PGC2018-0910.13039/501100011033, CEX2019-000910-S/10.13039/501100011033, Plan National FIDEUA PID2019-106901GB-I00, Plan National STAMEENA PID2022-139099NB, I00, project funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by the $\frac{1}{2}$ European Union NextGenerationEU/PRTR & quot; (PRTRC17. I1), FPI); QUANTERA DYNAMITE PCI2022- 132919, QuantERA II Program e co-funded by European Union's Horizon 2020 program under Grant Agreement o 101017733; Ministry for Digital Transformation and of Civil Service of the Spanish Governme t through the QUANTUM ENIA project call - Quantum Spain project, and by the Europe n Union through the Recovery, Transformation and Resilience Plan - NextGenerationEU with n the framework of the Digital Spain 2026 Agenda; MICIU/AEI/10.13039/501100011033 and U (PCI2025-163167); Fundacio Cellex; Fundacio Mir-Puig; Generalitat de Catalunya (Europe n Social Fund FEDER and CERCA program; Barcelona Supercomputing Center MareNostr m (FI-2023-3-0024); Funded by the European Union. (HORIZON-CL4-2022-QUANTUM-02-S A PASQuanS2.1, 101113690, EU Horizon 2020 FET-OPEN OPTologic, Grant No 89979 , QU-ATTO, 101168628), EU Horizon Europe Program (This project has received funding fr m the European Union's Horizon Europe research and innovation program under gra t agreement No 101080086 NeQSTGrant Agreement 101080086 -NeQST); ICFO Intern

QuantumGaudii project.