

Image not found

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 armonica, el estudio actual atrapa los atomos en puntos discretos que forman un patron triangular mediante una red optica. La red se combina con un potencial armonico tridimensional, que confina los atomos en cada sitio de la red a lo largo de regiones alargadas, con forma de tubos.

¿Esta geometria altera la manera en que los atomos se mueven e interactuan, provocan o que las fluctuaciones escalen de manera inusual con el numero total de particulas¿, afirma el Prof. Christof Weitenberg de la Universidad Tecnica de Dortmund, autor principal del articulo.

Para observar este efecto, el equipo experimental enfrio, atrapo y volco atomos de rubidio en la red. Variando la temperatura y el numero inicial de atomos, los investigadores monitorizaron la transicion de fase desde un gas normal hasta un BEC. Posteriormente utilizaron microscopia de ondas de materia para obtener imagenes del condensado y determinar el numero de atomos, la temperatura y la fraccion condensada. En paralelo el ICFO, el Donostia International Physics Center y la Universidad Adam Mickiewicz lideraron el esfuerzo teorico, realizando simulaciones numericas que combinaron dos marcos teoricos distintos, cuyos resultados coincidieron satisfactoriamente con las observaciones experimentales.

Segun el primer autor, el Dr. Zahra Jalali-Mola, ¿estos resultados avanzan sustancialmente nuestra comprension del papel de las interacciones y de la geometria del confinamiento en las fluctuaciones del condensado¿. Esto nos acerca un paso mas a revelar nuevos fenomenos cuanticos de muchos cuerpos en sistemas de redes y, a largo plazo podria permitir aplicaciones en metrologia.

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 European Union NextGenerationEU/PRTR (PRTRC17. I1), FPI); QUANTERA DYNAMITE PCI2022- 132919, QuantERA II Program co-funded by European Union's Horizon 2020 program under Grant Agreement No 101017733; Ministry for Digital Transformation and of Civil Service of the Spanish Government through the QUANTUM ENIA project call - Quantum Spain project, and by the European Union through the Recovery, Transformation and Resilience Plan - NextGenerationEU with 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 (European Social Fund FEDER and CERCA program; Barcelona Supercomputing Center MareNostrum (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 from the European Union's Horizon Europe research and innovation program under grant agreement No 101080086 NeQST Grant Agreement 101080086 -NeQST); ICFO International Quantum Gaudii project.