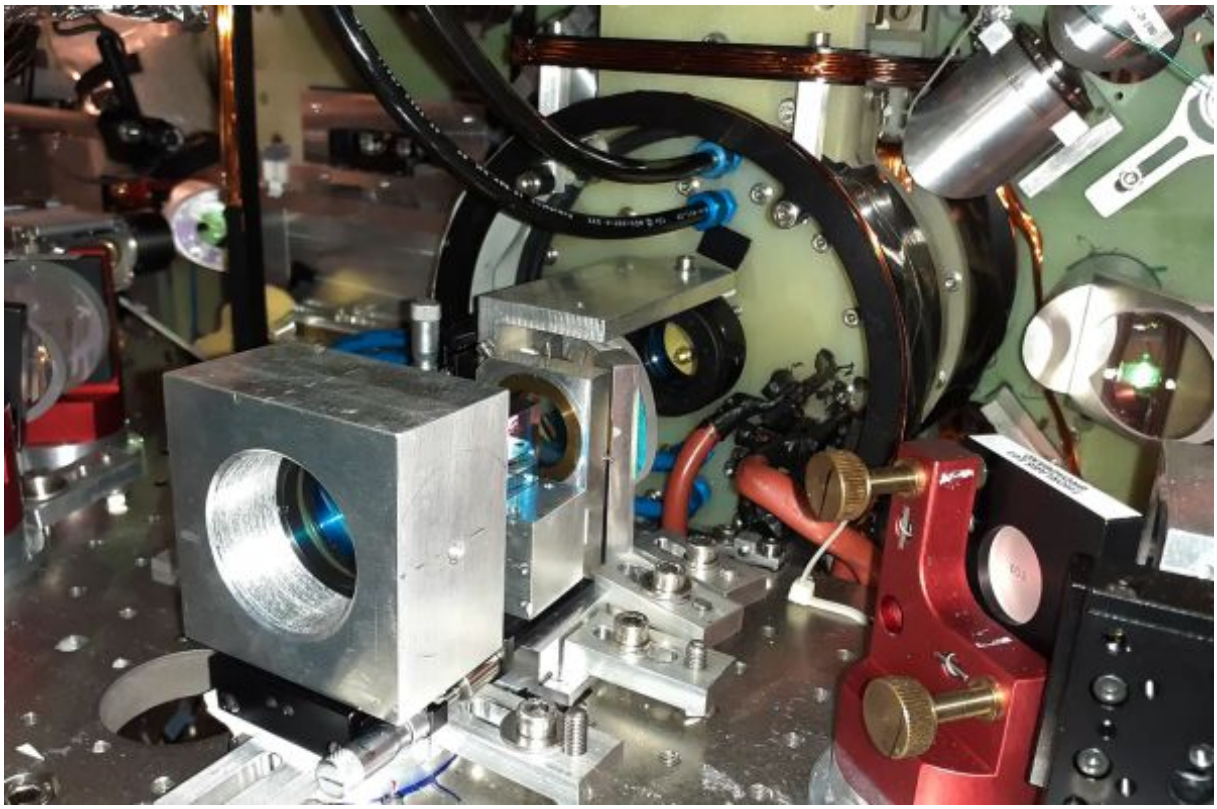

La geometria de la red optica induce fluctuaciones anomalas en los condensados de Bose-Einstein

Las fluctuaciones se encuentran en el nucleo de nuestro universo, desde en transiciones de fase termicas hasta en la evolucion cosmica. Los cientificos estudian estas fluctuaciones utilizando condensados de Bose-Einstein (BEC), cuyo numero de atomos fluctua 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 numero de particulas en un BEC situado en una red optica triangular. Combinando modelado teorico y mediciones experimentales, el equipo observo fluctuaciones fuertemente anomalas, demostrando asi el papel central que juega la geometria de la red. Estos resultados profundizan nuestra comprension de las fluctuaciones del numero de atomos en los BEC.

February 25, 2026

Las fluctuaciones son fundamentales en los sistemas fisicos, impulsando transiciones de fase y limitando el control de los sistemas cuanticos. Por ello, no resulta sorprendente que los cientificos esten tan interesados en estudiarlas. Una de las plataformas mas adecuadas son los condensados de Bose-Einstein atomicos, donde un gran numero de atomos ocupa el estado de menor energia y exhibe de forma natural fluctuaciones intrigantes.

Un articulo reciente en Physical Review Letters presenta la primera investigacion sobre las fluctuaciones del numero de particulas en **un BEC integrado en una red optica**. Al combinar la especializacion teorica del Donostia International Physics Center en San Sebastian (Espana), la Universidad Adam Mickiewicz en Poznan (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 Tecnica de Dortmund en Alemania, el equipo pudo observar **fluctuaciones fuertemente anomalas en el numero de atomos del condensado**, al tiempo que revelo que **el confinamiento en la red influye profundamente en dichas fluctuaciones**.

A diferencia de trabajos previos sobre BEC continuos, donde los atomos 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.

i¿½Esta 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 particulasi¿½, af rma el Prof. Christof Weitenberg de la Universidad Tecnica de Dortmund, autor principal del artic

lo. Para observar este efecto, el equipo experimental enfrio, atrapo y volco atomos de rubidi en la red. Variando la temperatura y el numero inicial de atomos, los investigad res monitorizaron la transicion de fase desde un gas normal hasta un BEC. Posteriorm nte utilizaron microscopia de ondas de materia para obtener imagenes del condensa o 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 lideraro el esfuerzo teorico, realizando simulaciones numericas que combinaron dos marcos teor cos distintos, cuyos resultados coincidieron satisfactoriamente con las observaci nes experimenta

es. Segun el primer autor, el Dr. Zahra Jalali-Mola, i¿½estos resultados avanzan sustancia mente nuestra comprension del papel de las interacciones y de la geometria del confinamie to en las fluctuaciones del condensadoi¿½. Esto nos acerca un paso mas a revela nuevos fenomenos cuanticos 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 i¿½European Union NextGenerationEU/PRTR " (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

I i¿½QuantumGaudii¿½ project.