



## La geometria de la xarxa optica indueix fluctuacions anormales en els condensats de Bose-Einstein

Les fluctuacions es troben al nucli del nostre univers, impulsant des de transicions de fase termiques fins a l'evolucio cosmica. Els científics estudien aquestes fluctuacions mitjancant condensats de Bose-Einstein (BEC), on el nombre d'atoms fluctua de manera natural al llarg del temps.

En un nou estudi publicat a *Physical Review Letters*, investigadors de l'ICFO i col·laboradors han investigat, per primera vegada, le fluctuacions en el nombre de particules d'un BEC situat en un xarxa optica triangular. Combinant el modelatge teoric i le mesures experimentals, l'equip observa fluctuacions fortamen anormales, demostrant aixi el paper central que juga la geometri de la xarxa. Aquests resultats aprofundeixen la nostra comprensi de les fluctuacions del nombre d'atoms en els BEC.

Les fluctuacions són fonamentals en els sistemes físics, ja que impulsen les transicions de fase i limiten el control dels sistemes quàntics. Per això, no és sorprenent que els científics estiguin tan interessats a estudiar-les. Una de les plataformes més adequades són els condensats de Bose-Einstein atòmics, on un gran nombre d'àtoms ocupa l'estat d'energia més baixa i exhibeix de manera natural fluctuacions intrigants.

Un article recent a *Physical Review Letters* presenta la primera investigació sobre les **fluctuacions del nombre de partícules en un BEC integrat en una xarxa òptica**. En combinar l'expertesa teòrica del Donostia International Physics Center de Sant Sebastià (Espanya), la Universitat Adam Mickiewicz de Poznań (Polònia) i els investigadors de l'ICFO, el **Dr. Zahra Jalali-Mola** i el **Dr. Utso Bhattacharya**, dirigits pel **Prof. ICREA Maciej Lewenstein**, amb el suport experimental de la Universitat d'Hamburg i la Universitat Tècnica de Dortmund (Alemanya), l'equip ha pogut observar fluctuacions fortament anòmales en el nombre d'àtoms del condensat, alhora que ha revelat com el confinament en la xarxa influeix profundament en aquestes fluctuacions.

A diferència de treballs previs sobre BEC continus, on els àtoms es mouen lliurement dins d'una trampa harmònica, l'estudi actual atrapa els àtoms en punts discrets que formen un patró triangular mitjançant una xarxa òptica. La xarxa es combina amb un potencial harmònic tridimensional, que confina els àtoms a cada posició de la xarxa en regions allargades, amb forma de tubs.

Aquesta geometria altera la manera com els àtoms es mouen i interactuen, provocant que les fluctuacions escalin de manera inusual amb el nombre total de partícules, afirma el Prof. Christof Weitenberg de la Universitat Tècnica de Dortmund, autor principal de l'article. Per observar aquest efecte, l'equip experimental va refredar, atrapar i bolcar àtoms de rubí a la xarxa. Variant la temperatura i el nombre inicial d'àtoms, els investigadors van monitorar la transició de fase d'un gas normal cap a un BEC. Posteriorment, van utilitzar microscòpia d'ones de matèria per obtenir imatges del condensat i determinar el nombre d'àtoms a la temperatura i la fracció condensada. Paral·lelament, l'ICFO, el Donostia International Physics Center i la Universitat Adam Mickiewicz van liderar l'esforç teòric, realitzant simulacions numèriques que combinaven dos marcs teòrics diferents, els resultats de les quals van coincidir satisfactoriament amb les observacions experimentals. Segons el primer autor, el Dr. Zahra Jalali-Mola, aquests resultats canvien substancialment la nostra comprensió del paper de les interaccions i de la geometria del confinament en les fluctuacions del condensat. Això, al seu torn, ens acostarà un pas més a revelar nous fenòmens quàntics de molts cossos en sistemes de xarxes i, a llarg termini, podria permetre aplicacions en metrologia.

**Referència:**

Zahra Jalali-Mola, et. al., Anomalous fluctuations of Bose-Einstein condensates in optical lattices, *Phys. Rev. Lett.* (2025)

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

### **Agraiments:**

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 l  $\frac{1}{2}$ QuantumGaudii $\frac{1}{2}$  project.