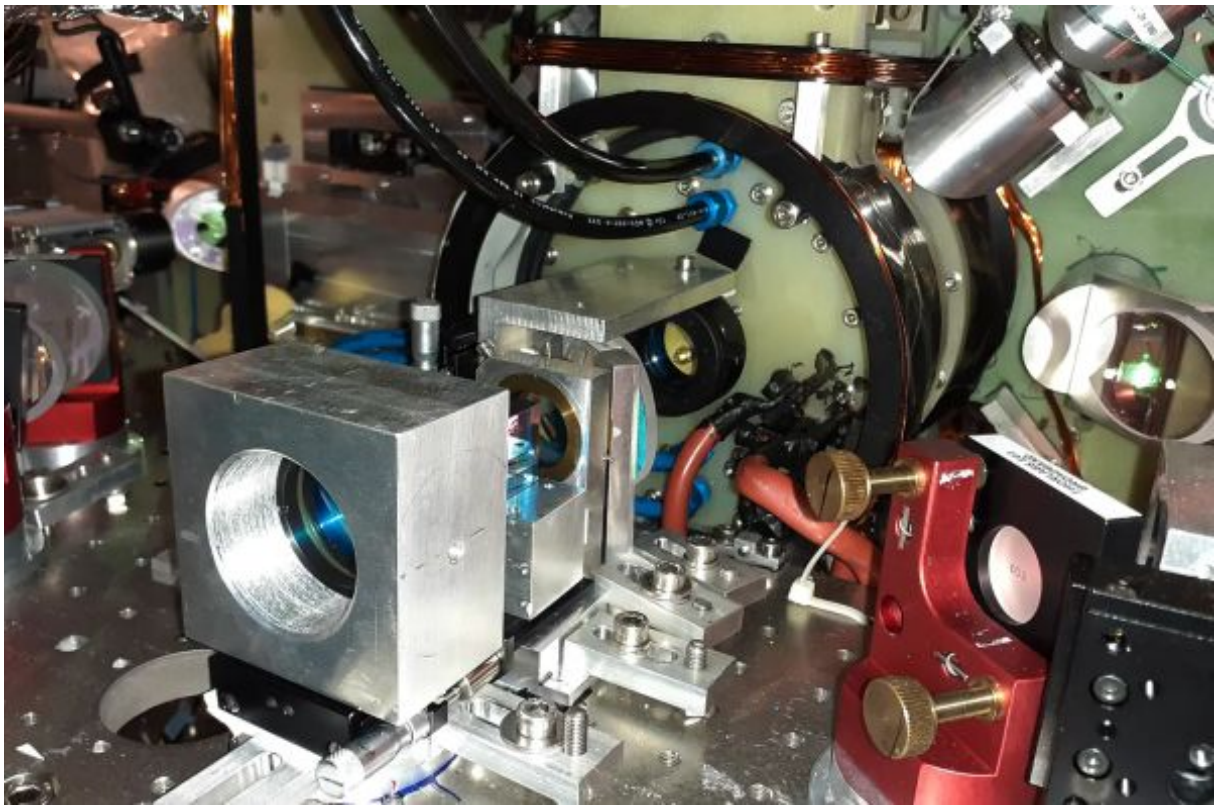

La geometria de la xarxa optica indueix fluctuacions anomales en els condensats de Bose-Einstein

Les fluctuacions es troben al nucli del nostre univers, impulsant des de transicions de fase termiques fins a l'evolucio cosmica. Els cientifics 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 anomales, 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.

February 25, 2026

Les fluctuacions son fonamentals en els sistemes fisics, ja que impulsen les transicions de fase i limiten el control dels sistemes quantics. Per aixo, no es sorprenent que els cientifics estiguin tan interessats a estudiar-les. Una de les plataformes mes adequades son els condensats de Bose-Einstein atomics, on un gran nombre d'atoms ocupa l'estat d'energia mes baixa i exhibeix de manera natural fluctuacions intrigants.

Un article recent a Physical Review Letters presenta la primera investigacio sobre les **fluctuacions del nombre de particules en un BEC integrat en una xarxa optica**. En combinar l'expertesa teorica del Donostia International Physics Center de Sant Sebastia (Espanya), la Universitat Adam Mickiewicz de Poznan (Polonia) 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 Tecnica de Dortmund (Alemanya), l'equip ha pogut observar fluctuacions fortament anomales en el nombre d'atoms del condensat, alhora que ha revelat com el confinament en la xarxa influeix profundament en aquestes fluctuacions.

A diferencia de treballs previs sobre BEC continus, on els atoms es mouen lliurement dins d'una trampa harmonica, l'estudi actual atrapa els atoms en punts discrets que formen un patro triangular mitjancant una xarxa optica. La xarxa es combina amb un potencial harmonic tridimensional, que confina els atoms a cada posicio de la xarxa en regions allargades, amb forma de tubs.

i¿½Aquesta geometria altera la manera com els atoms es mouen i interactuen, provocant q e les fluctuacions escalin de manera inusual amb el nombre total de particulesi¿½, afirm el Prof. Christof Weitenberg de la Universitat Tecnica de Dortmund, autor principal de l'arti le. Per observar aquest efecte, l'equip experimental va refredar, atrapar i bolcar atoms de ru idi a la xarxa. Variant la temperatura i el nombre inicial d'atoms, els investigadors van monit rar la transicio de fase d'un gas normal cap a un BEC. Posteriorment, van utilitzar microsc pia d'ones de materia per obtenir imatges del condensat i determinar el nombre d'atoms la temperatura i la fraccio condensada. Paral·lelament, l'ICFO, el Donostia International Ph sics Center i la Universitat Adam Mickiewicz van liderar l'esforc teoric, realitzant simula ions numeriques que combinaven dos marcs teorics diferents, els resultats de les qual van coincidir satisfactoriament amb les observacions experimen als. Segons el primer autor, el Dr. Zahra Jalali-Mola, i¿½aquests resultats vancen substancialment la nostra comprensio del paper de les interaccions i de la geomet ia del confinament en les fluctuacions del condensati¿½. Aixo, al seu torn, ens acosta un as mes a revelar nous fenomens quantics de molts cossos en sistemes de xarxes i, a llarg termini, podria permetre aplicacions en metrologia

Referencia:

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 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 l i¿½QuantumGaudii¿½ project.