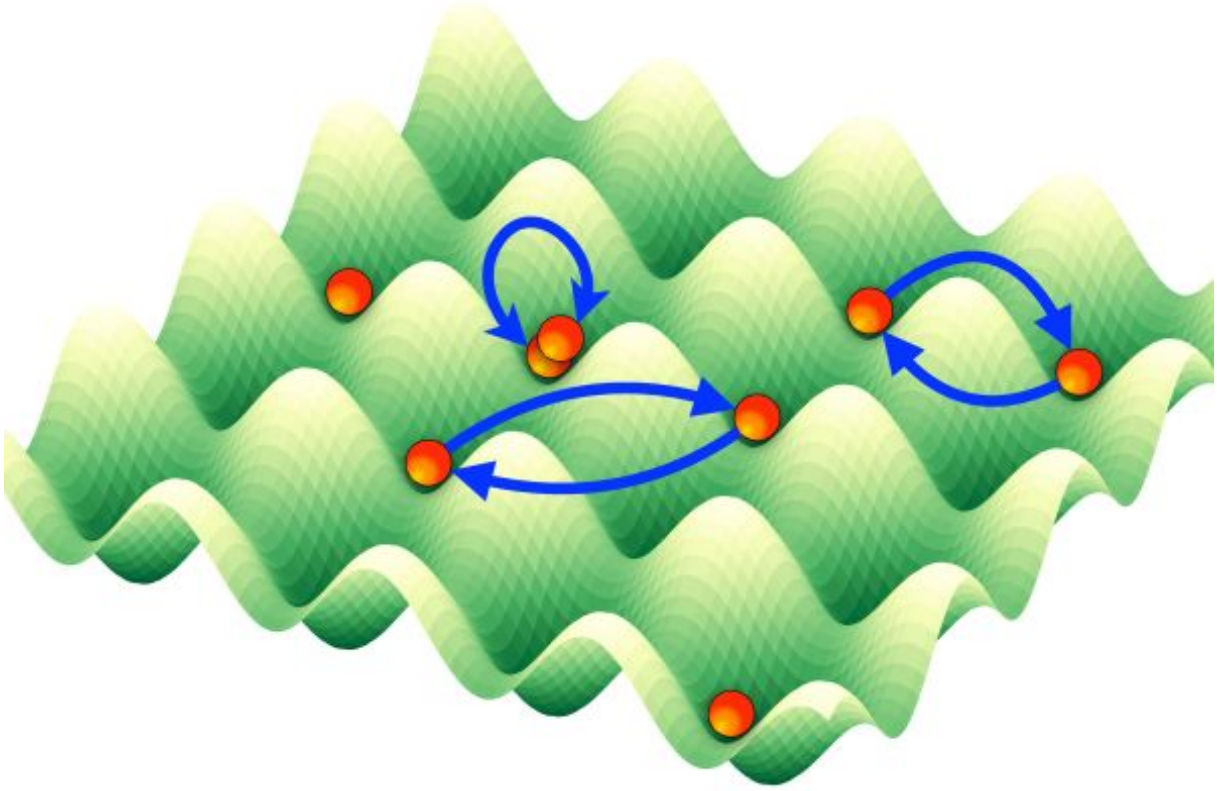


Simulacio quantica amb atoms ultrafreds en interaccio: avencos recents i perspectives futures

Un equip d'investigadors ha elaborat una revisio actualitzada sobre els models de Bose-Hubbard no estandard, un marc teoric tipicament utilitzat per descriure simuladors quantics basats en atoms ultrafreds amb diversos tipus d'interaccions. Aquesta revisio recull resultats recents en el camp i analitza com en aquests sistemes poden emergir estats intrigants de la materia i efectes mecanoquantics.

March 28, 2025

Els simuladors quantics atomics son tecnologies quantiques emergents que han demostrat un enorme potencial per revelar fenomens innovadors de la mecanica quantica. Tipicament, la plataforma experimental d'aquests simuladors implica atoms bosonics a temperatures ultrafredes. Mitjancant la creacio d'una reixeta de llum amb lasers potents, coneguda com a xarxa optica, els atoms s'organitzen en l'espai seguint un patro periodic i ocupant diferents

llocs de la xarxa. No obstant aixo, en lloc de romandre aillats, els atoms poden interactuar de diverses maneres: poden saltar d'un lloc de la xarxa a un altre de proper, poden experimentar atraccio o repulsio amb els seus veins mes propers dins la xarxa, i fins i tot poden interactuar amb atoms situats a una distancia mes gran mitjancant les anomenades interaccions de llarg abast, entre altres mecanismes.

La riquesa i la mal·leabilitat d'aquests sistemes permeten als investigadors simular sisteme mes complexos, que d'altra manera serien inaccessibles, i explorar nous estats de la materi que potser ni tan sols existeixen a la natura, essent la seva creacio artificial al laborator l'unica forma d'observar-los

Afortunadament, diversos models teorics, els models de Bose-Hubbard no estandard (BHM per les seves sigles en angles), poden capturar fidelment les complexitats dels sisteme esmentats. Per aquest motiu, la investigacio dels BHM no estandard en el context del simuladors quantics atomics es crucial per a l'avenc del camp, tant des d'una perspectiv teorica com experimental

La implementacio de xarxes optiques a la decada del 2000 va impulsar l'expansio inicial de l investigacio sobre els BHM no estandard, que des de llavors ha continuat desenvolupant-s rapidament. Ara be, han passat deu anys des de l'ultima revisio sobre el tema, i en aques temps s'han assolit avencos significatius. De fet, l'extraordinari progres en l'enginyeri experimental i la caracteritzacio teorica dels BHM no estandard ja ha deixat obsoleta l revisio anterior

Recentment, una col·laboracio conjunta entre l'Institut de Tecnologia Indore Indi, l'Institut e Fisica de la Materia Condensada i Sistemes Complexos (Politecnic de Torino), l'Instit t d'Optica Quantica i Informacio Quantica (Innsbruck), la Universitat d'Innsbruck, l'Institut e Fisica Teorica (Universitat Jagiellonian), el centre Mark Kac d'Investigacio en Sistem s Complexos (Universitat Jagiellonian), i el **Prof. ICREA de l'ICFO el Dr. Maciej Lewenstein**, ha presentat una revisio actualitzada, publicada a Reports on Progress in Physics. En aquest treball, **han recopilat alguns dels resultats mes recents i emocionants sobre la investigacio dels models de Bose-Hubbard no estandard, centrant-se en la seva aplicacio en simuladors quantics atomics**.

Des d'una perspectiva tant teorica com experimental, els investigadors analitzen com en aquests sistemes poden emergir estats intrigants de la materia i efectes mecanoquantics, descriuen configuracions experimentals recents que utilitzen atoms ultrafreds i els resultats obtinguts, i especulen sobre els futurs desenvolupaments. "Creiem que **aquesta revisio estableix les bases per a molts mes avencos cientifics que el futur ens portara**", afirmen els investigadors.

Alguns dels avencos clau inclouen la incorporacio d'efectes dissipatius en el mateix lloc (com es perd energia en el sistema a causa de les interaccions) en la descripcio teorica, cosa que la fa mes precisa; la implementacio experimental d'interaccions de llarg abast i l'exploracio del seu impacte en la dinamica atomica, fet que ha conduit a noves perspectives en la fisica

de molts cossos quantics; i un major control sobre les interaccions entre atoms.
"La quantitat de resultats recents es impressionant", comenten els autors, que creuen que aquesta abundancia d'investigacions reeixides "demostra la importancia central que els models de Hubbard no estandard han tingut, tenen i continuaran tenint per entendre les lleis fonamentals de la natura en la materia condensada i, com s'ha observat recentment, en la fisica d'altes energies i la quimica quantica".

Referencia:
Titas Chanda, Luca Barbiero, Maciej Lewenstein, Manfred J. Mark and Jakub Zakrzewski, Recent progress on quantum simulations of non-standard Bose-Hubbard models. Reports on Progress in Physics (2025).
DOI 10.1088/1361-6633/adc3a7

Agraiments:
L.B. acknowledges financial support within the DiQut Grant No. 2022523NA7 funded by European Union - Next Generation EU, PRIN 2022 program (D.D. 104 - 02/02/2022 Ministero dell'Universita e della Ricerca). M.L. acknowledges support from: ERC AdG NOQIA; Ministerio de Ciencia y Innovation Agencia Estatal de Investigaciones (PGC2018-097027-B-I00/10.13039/501100011033, CEX2019-000910-S/10.13039/501100011033, Plan National FIDEUA PID2019-106901GB-I00, FPI, QUANTERA MAQS PCI2019-111828-2, QUANTERA DYNAMITE PCI2022-132919, Proyectos de I+D+I i¿½Retos Colaboracioni¿½ QUSPIN RTC2019- 007196-7); MICIIN with funding rom European Union NextGenerationEU(PRTR-C17.I1) and by Generalitat de Catalunya; Fund cio Cellex; Fundacio Mir-Puig; Generalitat de Catalunya (European Social Fund FEDER and C RCA program, AGAUR Grant No. 2021 SGR 01452, QuantumCAT U16-011424, co-funded by RDF Operational Program of Catalonia 2014-2020); Barcelona Supercomputing Ce ter MareNostrum (FI- 2022-1-0042); EU Horizon 2020 FET-OPEN OPTOlogic (Grant No 8997 4); EU Horizon Europe Program (Grant Agreement 101080086 - NeQST), ICFO Inte nal i¿½QuantumGaudii¿½ project; European Union's Horizon 2020 research and in ovation program under the Marie-Sk?odowska-Curie grant agreement No 101029393 (STRE CH) and No 847648 (i¿½La Caixai¿½ Junior Leaders fellowships ID100010434: LCF/BQ/PI 9/11690013, LCF/BQ/PI20/11760031, LCF/BQ/PR20/11770012, LCF/BQ/PR21/1184 013). L. B. acknowledges financial support within the DiQut Grant No. 2022523NA7 funded by European Union - Next Generation EU, PRIN 2022 program (D.D. 104 - 02/02/20 2 Ministero dell'Universit?a e della Ricerca). M.J.M. acknowledges financial su port from a NextGeneration EU Grant AQuSIM through the Austrian Research Promotion gency (FFG) (No. FO999896041), and the Austrian Science Fund (FWF) Cluster of Excel ence QuantA (10.55776/COE1). This research was also funded by National Science Centre (P

land) under the OPUS call within the WEAVE programme 2021/43/I/ST3/01142 (J.Z.). A partia
support by the Strategic Programme Excellence Initiative at Jagiellonian University as well as
that within the QuantEra II Programme that has received funding from the European Uni
n's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement No 101017
33 DYNAMITE (M.L. and J.Z.).