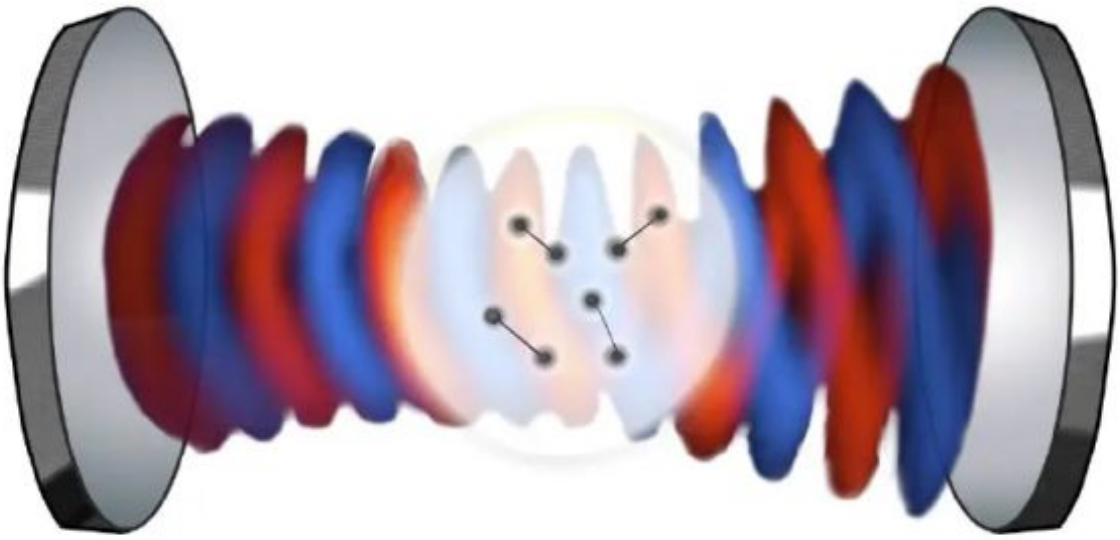

Jugant amb llum i molecules: una plataforma versatil per explorar materia quantica exotica

En una publicacio a Physical Review Letters, investigadors de l'ICFO han proposat teoricament un nou metode que utilitza molecules i llum per estudiar estats exotics de la materia en que poden sorgir diversos efectes quantics, com les interaccions no locals i la frustracio geometrica. La plataforma seria mes versatil i robusta que les alternatives existents.

March 17, 2026

Els efectes quantics poden resultar esquius, intricats i profundament complexos. Es per aixo que, de vegades, els investigadors dissenyen plataformes especifiques que imiten aquests fenomens quantics de manera "neta" i controlable, minimitzant les pertorbacions que sovint es troben a la natura. Resulta que, a vegades, aquests sistemes sintetics de materia quantica son l'unic mitja per comprendre aquests efectes.

Tradicionalment, els investigadors han utilitzat atoms ultrafreds per dissenyar interaccions

quantiques complexes, inclosos els acoblaments no locals (interaccions que s'estenen al llarg de tot el sistema, fet que permet que atoms distants s'influeixin mutuament). Els acoblaments no locals es troben a la base de diverses propietats quantiques fonamentals com l'entrellacament, i poden, per tant, donar lloc a fenomens d'interes. L'anomenada frustracio geometrica, per exemple, es un d'aquests fenomens, en el qual aquestes interaccions impedeixen que el sistema s'assenti en una unica configuracio en minimitzar la seva energia, cosa que pot conduir a fases exotiques de la materia.

Aquestes plataformes, tot i ser efectives, sovint requereixen manipulacions rapides i repetitives si es vol induir aquest tipus de fenomens quantics, cosa que pot desprendre calor no desitjada, i introduir decoherencia o altres efectes secundaris negatius. Ara, els investigadors de l'ICFO **Pavel P. Popov** i la **Dr. Joana Fraxanet**, dirigits pel **Prof. ICREA Maciej Lewenstein**, i en col·laboracio amb l'Alumnus de l'ICFO el Dr. Luca Barbiero del Politecnic d Torino, han presentat un nou enfocament aPhysical Review Letters que supera les limitacions esmentades, donant lloc a **una plataforma mes versatil i robusta** que les alternatives existents.

La seva proposta requereix tan sols dos ingredients principals: un nuvol de molecules i llum. "En dispersar un feix laser en aquestes molecules, podem crear un entorn controlable per als fotons que imita el comportament dels electrons en un material solid", explica en Pavel Popov, primer autor de l'article. Les molecules del nuvol, pero, han d'estar distribuides d'una manera particular. Controlant i modificant acuradament aquesta distribucio espacial, els investigadors poden ajustar com els fotons dispersats es propaguen i interactuen entre si i amb el nuvol. "Aquesta configuracio es capac de simular sistemes que son notoriament dificils de simular numericament, i ho fa d'una manera molt versatil", afegeix l'investigador. De fet, l'equip va demostrar teoricament que, amb els ajustaments apropiats, poden emergir fenomens fisics exotics, incloent-hi **acoblaments no locals**, **frustracio geometrica** i fins i tot **camps artificials de tipus magnetic**, que afecten el moviment de la llum de manera similar a com els camps magnetics reals afecten els electrons. Si es realitzes experimentalment, el seu model podria esdevenir una plataforma ideal per jugar amb la llum i les molecules, i aixi explorar superfluids quirals, transicions de fase exotiques, fases topologiques de la materia i altres fases quantiques que encara estan per descobrir.

Segons el Prof. Maciej Lewenstein, investigador principal de l'estudi: "Comprendre la fisica que es troba en aquest tipus de sistemes pot donar lloc a un progres tecnologic que al seu torn podria, per exemple, ajudar-nos a construir superconductors a temperatura ambient".

Referencia:

Pavel P. Popov and Joana Fraxanet and Luca Barbiero and Maciej Lewenstein, Geometrical frustration, power law tunneling and nonlocal gauge fields from scattered light, Phys. Rev. Lett. **136**, 103403 (2026).

DOI: https://doi.org/10.1103/hndj-8tj1

Agraiments:
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 Uni n NextGenerationEU/PRTRi¿½ (PRTR-C17.I1), FPI); QUANTERA MAQS PCI2019-11182 -2; QUANTERA DYNAMITE PCI2022-132919, QuantERA II Programme co-funded by Euro ean Union's Horizon 2020 program under Grant Agreement No 101017733; Ministry for Dig tal Transformation and of Civil Service of the Spanish Government through the QUANTUM NIA project call - Quantum Spain project, and by the European Union through the Recov ry, Transformation and Resilience Plan - NextGenerationEU within the framework of the Dig tal Spain 2026 Agenda; Fundacio Cellex; Fundacio Mir-Puig; Generalitat de Catalunya (Euro ean Social Fund FEDER and CERCA program, AGAUR Grant No. 2021 SGR 01452, Quantum CAT U16-011424, co-funded by ERDF Operational Program of Catalonia 2014-2020); Barce ona Supercomputing Center MareNostrum (FI-2023-3-0024); Funded by the European Un on. (HORIZON-CL4-2022-QUANTUM-02-SGA PASQuanS2.1, 101113690, EU Horizon 020 FET-OPEN OPTOlogic, Grant No 899794, QU-ATTO, 101168628), EU Horizon Europe Pro ram (This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation program under grant agreement No 101080086 NeQSTGrant Agree ent 101080086 - NeQST); ICFO Internal i¿½QuantumGaudii¿½ project; European Union's Horizon 2020 program under the Marie Sklodowska-Curie grant agreement No 847648 P.P.P. acknowledges also support from the i¿½Secretaria d'Universitats i Recerca del D partament de Recerca i Universitats de la Generalitat de Catalunyai¿½ under grant 2024 FI 3 00390, as well as the European Social Fund Plus. L. B. acknowledges financial support with n the DiQut Grant No. 2022523NA7 funded by European Union- Next Generation EU, PRIN 022 program (D.D. 104- 02/02/2022 Ministero dell'Universita e della Ricerca).