



Jugant amb llum i molècules: una plataforma versàtil per explorar matèria quàntica exòtica

En una publicació a *Physical Review Letters*, investigadors de l'ICFO han proposat teòricament un nou mètode que utilitza molècules i llum per estudiar estats exòtics de la matèria en que poden sorgir diversos efectes quàntics, com les interaccions no locals i la frustració geomètrica. La plataforma seria més versàtil i robusta que les alternatives existents.

March 17, 2026

Els efectes quàntics poden resultar esquius, intricats i profundament complexos. Es per això que, de vegades, els investigadors dissenyen plataformes específiques que imiten aquests fenòmens quàntics de manera "neta" i controlable, minimitzant les pertorbacions que sovint es troben a la natura. Resulta que, a vegades, aquests sistemes sintètics de matèria quàntica són l'única mitja per comprendre aquests efectes.

Tradicionalment, els investigadors han utilitzat àtoms 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 atòms 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 fenòmens d'interès. L'anomenada frustració geomètrica, per exemple, és un d'aquests fenòmens, en el qual aquestes interaccions impedeixen que el sistema s'assenti en una única configuració en minimitzar la seva energia, cosa que pot conduir a fases exòtiques de la matèria.

Aquestes plataformes, tot i ser efectives, sovint requereixen manipulacions ràpides i repetitives si es vol induir aquest tipus de fenòmens quàntics, cosa que pot desprendre calor no desitjada, i introduir decoherència 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·laboració amb l'Alumnus de l'ICFO el Dr. Luca Barbiero del Politecnic de Torí, han presentat un nou enfocament a *Physical Review Letters* que supera les limitacions esmentades, donant lloc a **una plataforma més versàtil i robusta** que les alternatives existents.

La seva proposta requereix tan sols dos ingredients principals: un núvol de molècules i llum. "En dispersar un feix laser en aquestes molècules, podem crear un entorn controlable per als fotons que imita el comportament dels electrons en un material sòlid", explica en Pavel Popov, primer autor de l'article. Les molècules del núvol, però, han d'estar distribuïdes d'una manera particular. Controlant i modificant acuradament aquesta distribució espacial, els investigadors poden ajustar com els fotons dispersats es propaguen i interactuen entre si i amb el núvol. "Aquesta configuració és capaç de simular sistemes que són notoriament difícils de simular numèricament, i ho fa d'una manera molt versàtil", afegeix l'investigador. De fet, l'equip va demostrar teòricament que, amb els ajustaments apropiats, poden emergir fenòmens físics exòtics, incloent-hi **acoblaments no locals**, **frustració geomètrica** i fins i tot **camp artificial de tipus magnètic**, que afecten el moviment de la llum de manera similar a com els camps magnètics reals afecten els electrons. Si es realitza experimentalment, el seu model podria esdevenir una plataforma ideal per jugar amb la llum i les molècules, i així explorar superfluids quirals, transicions de fase exòtiques, fases topològiques de la matèria i altres fases quàntiques que encara estan per descobrir.

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

Referència:

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 $\frac{1}{2}$ European Union NextGenerationEU/PRTR $\frac{1}{2}$ (PRTR-C17.11), FPI); QUANTERA MAQS PCI2019-11182-2; QUANTERA DYNAMITE PCI2022-132919, QuantERA II Programme co-funded by European Union's Horizon 2020 program under Grant Agreement No 101017733; Ministry for Digital 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 Recovery, Transformation and Resilience Plan - NextGenerationEU within the framework of the Digital Spain 2026 Agenda; Fundacio Cellex; Fundacio Mir-Puig; Generalitat de Catalunya (European 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); Barcelona Supercomputing Center MareNostrum (FI-2023-3-0024); Funded by the European Union. (HORIZON-CL4-2022-QUANTUM-02-SGA PASQuanS2.1, 101113690, EU Horizon 2020 FET-OPEN OPTologic, Grant No 899794, QU-ATTO, 101168628), EU Horizon Europe Program (This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation program under grant agreement No 101080086 NeQST Grant Agreement 101080086 - NeQST); ICFO Internal $\frac{1}{2}$ QuantumGaudi $\frac{1}{2}$ project; European Union's Horizon 2020 program under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 847648 P.P.P. acknowledges also support from the $\frac{1}{2}$ Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament de Recerca i Universitats de la Generalitat de Catalunya $\frac{1}{2}$ under grant 2024 FI3 00390, as well as the European Social Fund Plus. L. B. acknowledges financial support with 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).