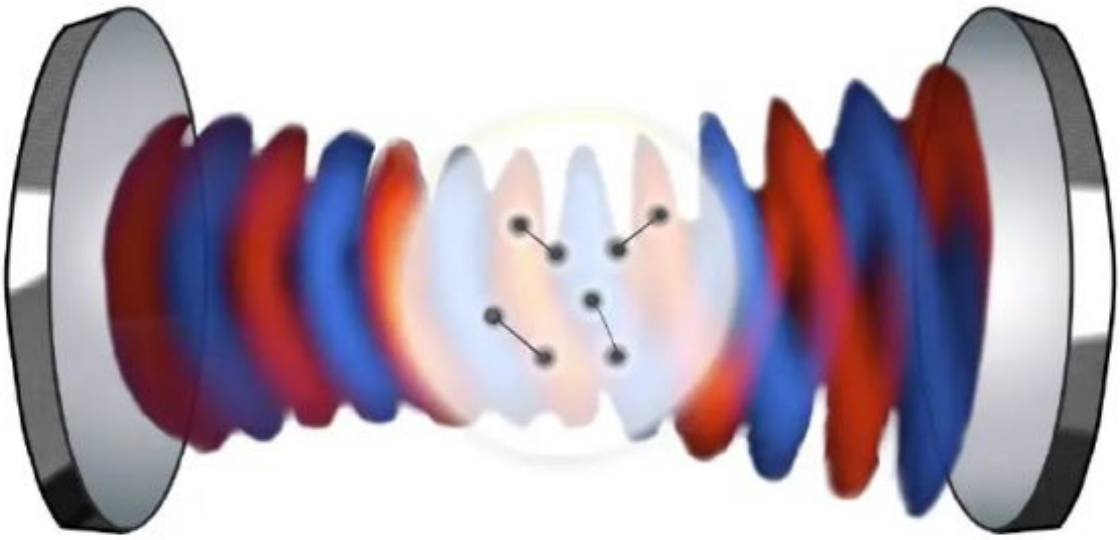

Jugando con luz y moleculas: una plataforma versatil para explorar materia cuantica exotica

En una publicacion en Physical Review Letters, investigadores del ICFO han propuesto teoricamente un nuevo metodo que utiliza moleculas y luz para estudiar estados exoticos de la materia en los que pueden emerger varios efectos cuanticos, como las interacciones no locales y la frustracion geometrica. La plataforma seria mas versatil y robusta que las alternativas existentes.

March 17, 2026

Los efectos cuanticos pueden resultar esquivos, intrincados y profundamente complejos. Es por eso que, a veces, los investigadores disenan plataformas especificas que imitan estos fenomenos cuanticos de manera "limpia" y controlable, minimizando las perturbaciones que a menudo se encuentran en la naturaleza. Resulta que, a veces, estos sistemas sinteticos de materia cuantica son su unico medio para comprender tales efectos.

Tradicionalmente, los investigadores han utilizado atomos ultrafrios para disenar

interacciones cuanticas complejas, incluidos los acoplamientos no locales (interacciones que se extienden a lo largo de todo el sistema, permitiendo que atomos distantes se influyan mutuamente). Los acoplamientos no locales se encuentran en la base de varias propiedades cuanticas fundamentales como el entrelazamiento, y pueden por tanto dar lugar a fenomenos de interes. La llamada frustracion geometrica, por ejemplo, es uno de estos fenomenos, en el cual estas interacciones impiden que el sistema se asiente en una unica configuracion al minimizar su energia, lo que puede conducir a fases exoticas de la materia. Estas plataformas, pese a ser efectivas, a menudo requieren de manipulaciones rapidas y repetitivas para inducir este tipo de fenomenos cuanticos, lo que puede desprender calor no deseado, e introducir decoherencia u otros efectos secundarios negativos. En la busqueda de **una plataforma versatil y mas robusta**, los investigadores de ICFO **Pavel P. Popov** y la **Dr. Joana Fraxanet**, dirigidos por el **Prof. ICREA Maciej Lewenstein**, y en colaboracion con el Alumnus de ICFO el Dr. Luca Barbiero del Politecnico de Turin, han presentado un nuevo enfoque en Physical Review Letters que supera las limitaciones mencionadas.

Su propuesta requiere tan solo dos ingredientes principales: una nube de moleculas y luz. "Al dispersar un haz laser en estas moleculas, podemos crear un entorno controlable para los fotones que imita el comportamiento de los electrones en un material solido", explica Pavel Popov, primer autor del articulo. Las moleculas en la nube, sin embargo, deben estar distribuidas de una manera particular. Controlando y modificando cuidadosamente esta distribucion espacial, los investigadores pueden ajustar como los fotones dispersados se propagan e interactuan entre si y con la nube. "Esta configuracion es capaz de simular sistemas que son notoriamente dificiles de simular numericamente, y lo hace de una manera muy versatil", anade el investigador.

De hecho, el equipo demostro teoricamente que, con los ajustes apropiados, pueden emerger fenomenos fisicos exoticos, incluyendo **acoplamientos no locales**, **frustracion geometrica** e incluso **campos artificiales de tipo magnetico**, que afectan el movimiento de la luz de manera similar a como los campos magneticos reales afectan a los electrones. De realizarse experimentalmente, su modelo podria convertirse en una plataforma ideal para jugar con la luz y las moleculas, y asi explorar superfluidos quirales, transiciones de fase exoticas, fases topologicas de la materia y otras fases cuanticas que aun estan por descubrir. Segun el Prof. Maciej Lewenstein, investigador principal del estudio: "Comprender la fisica que este tipo de sistemas albergan puede dar lugar a un progreso tecnologico que a su vez podria, por ejemplo, ayudarnos a construir superconductores a temperatura ambiente".

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

Agradecimientos:
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).