



## Presenten com els simuladors quants poden explorar fenomens que altrament serien inaccessibles

Un Col·loqui a *Reviews of Modern Physics* ofereix una introducció al camp de la simulació quàntica de geometries exòtiques sense un equivalent en el món real. La revisió destaca les oportunitats úniques que ofereixen diverses plataformes i analitza els nous fenòmens físics que es poden abordar amb elles.

March 31, 2025

---

Molts problemes importants en la física, especialment en àmbits com la física de baixes temperatures i la física de molts cossos, romanen poc compresos a causa de la immensa complexitat de la mecànica quàntica subjacent. Per afrontar aquests desafiaments, els científics recorren a la simulació quàntica, una tècnica que permet manipular i observar el comportament d'un sistema quàntic ben controlat al laboratori per tal d'estudiar sistemes quàntics que d'una altra manera serien inaccessibles.

La simulació quàntica va néixer amb l'objectiu d'abordar sistemes d'interès en el món real,

com ara materials electronics, superconductors i molècules complexes. Tanmateix, els físics aviat es van adonar que els simuladors quàntics podien anar més enllà de la mera imitació de sistemes existents. Això va obrir una nova línia de recerca: utilitzar simuladors quàntics per explorar sistemes sense equivalent en el món real. Conceptes que podrien semblar extrems de la ciència-ficció, com la matèria quàntica sintètica, espais de dimensions superiors que condueixen a una "realitat quàntica augmentada" o forats negres analògics, es van convertir en objecte d'estudi científic.

Recentment, un equip d'investigadors liderat per en Tobias Grass del Donostia International Physics Center a San Sebastian, amb la participació del **Prof. ICREA del ICFO Maciej Lewenstein**, així com investigadors d'ETH Zurich, Universitat de Lyon i TU Dortmund University, ha publicat un Col·loqui a *Reviews of Modern Physics*, on presenten una visió integral d'aquests simuladors quàntics exòtics. En aquest treball, abasten diverses plataformes, en particular aquelles basades en àtoms, electrons i fotons, destacant-ne tant les fortaleses com les limitacions. L'article també analitza com aquestes plataformes poden permetre als científics investigar fenòmens en una àmplia gamma de camps, des de la física de la matèria condensada fins a la cosmologia.

Segons els autors, una possibilitat fascinant és l'ús de simuladors quàntics per crear matèria quàntica sintètica amb geometries exòtiques que condueixen a fenòmens de localització. En aquest escenari, la funció d'ona d'una partícula o grup de partícules, que normalment s'estendria en una àrea espacial àmplia, es localitza a causa de la pròpia geometria, que induïx el confinament. Aquesta matèria quàntica sintètica també pot albergar fases topològiques, estats exòtics de la matèria definits per patrons d'entrellacament en lloc de la disposició i mobilitat atòmica, essent doncs un sistema ideal per a estudiar detalladament mitjançant simuladors quàntics. Aquests simuladors també poden utilitzar-se per explorar models cosmològics que involucren espais-temps corbats i fins i tot per simular la física dels forats negres, com l'efecte Unruh i la radiació de Hawking. Aquests fenòmens són increïblement debils i difícils d'observar amb tècniques astronòmiques, però els simuladors quàntics podrien fer-los detectables al laboratori.

De cara al futur, els investigadors assenyalen: i  $\frac{1}{2}$  Ateses les dificultats per simular aquests sistemes de manera clàssica, els simuladors quàntics poden desenvolupar tot el seu potencial, obrint la porta a qüestions fonamentals de la física quàntica de molts cossos. La nostra revisió mostra que s'han establert les bases per a futures exploracions del món interactuant de fractals, quasicristalls, espais corbats i de dimensions superiors i

**Referència:**

Tobias Grass, Dario Bercioux, Utso Bhattacharya, Maciej Lewenstein, Hai Son Nguyen, and Christof Weitenberg, Colloquium: Synthetic quantum matter in nonstandard geometries, *Rev. Mod. Phys.* 97, 011001 (2025).

DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.97.011001>

**Caption:**

La figura mostra la concepcio artistica d'una geometria fractal coneguda com a junta de Sierpinski. Aquesta geometria fractal sorgeix a traves d'una construccio autosimilar de triangles cada cop mes petits. Tal com s'analitza en el Col·loqui, els simuladors quantic moderns poden generar sinteticament aquest tipus d'estructures i explorar la interacció entre la mecanica quantica i geometries exotiques, donant lloc a caracteristiques innovadores com la localitzacio no estandard i propietats topologiques. Creat amb Microsoft AI image generator, per en Tobias Grass

**Agraiments:**

T. G. and D. B. acknowledge fruitful discussions with Geza Giedke. D. B. acknowledges the support of the Spanish MICINN-AEI through Project No. PID2020-120614GB-I00 (ENACT), the Transnational Common Laboratory Quantum ChemPhys, and the Department of Education of the Basque Government through Project No. PIBA\_2023\_1\_0007 (STRAINER). T. G. and D. B. acknowledge the financial support received from the IKUR Strategy under the collaboration agreement between the Ikerbasque Foundation and DIPC on behalf of the Department of Education of the Basque Government, and by the Gipuzkoa Provincial Council within Project No. QUAN-000021-01. T. G. acknowledges funding from the Department of Education of the Basque Government through Project No. PIBA\_2023\_1\_0021 (TENINT) and from the Agencia Estatal de Investigacion (AEI) through Proyectos de Generacion de Conocimiento No. PID2022-142308NA-I00 (EXQUSMI). This work has been produced with the support of a 2023 Leonardo Grant for Researchers in Physics from the BBVA Foundation. H. S. N. is funded by the French National Research Agency (ANR) under the project README (Project No. ANR-22-CE09-0036-01). The work of C.W. is funded by the Cluster of Excellence *iQ* : Advanced Imaging of Matter *iQ* of the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)-EXC 056 -Project No. 390715994 and the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under Grant Agreement No. 80201. U. B. is also grateful for the financial support of the IBM Quantum Researcher Program. M. L. acknowledges ERC AdG NOQIA; MCIN/AEI [PGC2018-0910.13039/50110001133, CEX2019-000910-S/10.13039/501100011033, Plan National FIDEUA PID2019-106901GB-I00, and the Plan National STAMEENA PID2022-139099NB-I00 project funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by the *iQ* European Union NextGenerationEU/PRTR *iQ* (PRTR-C17.I1), FPI]; QuantERA MAQS (Grant No. PCI2019-111828-2); QuantERA DYNAMITE (Grant No. PCI2022-132919; QuantERA II Programme, cofunded by the European Union's Horizon 2020 program under Grant Agreement No. 101017733), the Ministry of Economic Affairs and Digital Transformation of the Spanish Government through the QUANTUM ENIA project call-Quantum Spain proj

ct, and 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, and QuantumCAT Grant No. U16 011424, cofunded by the ERDF Operational Program of Catalonia 2014-2020); Barcelona Supercomputing Center MareNostrum (FI-2023-1-0013); EU Quantum Flagship (PASQAN S2.1, 101113690); EU Horizon 2020 FET-OPEN OPTOlogic (Grant No. 899794); EU Horizon Europe Program (Grant Agreement No. 101080086-NeQST); the ICFO Internal iQuantum Gaudii project; the European Union's Horizon 2020 program under the Marie Skłodowska-Curie Grant Agreement No. 847648; and iLa Caixa, i Junior Leaders fellowships, iLa Caixa, i Foundation (ID No. 100010434): CF/BQ/PR23/11980043.