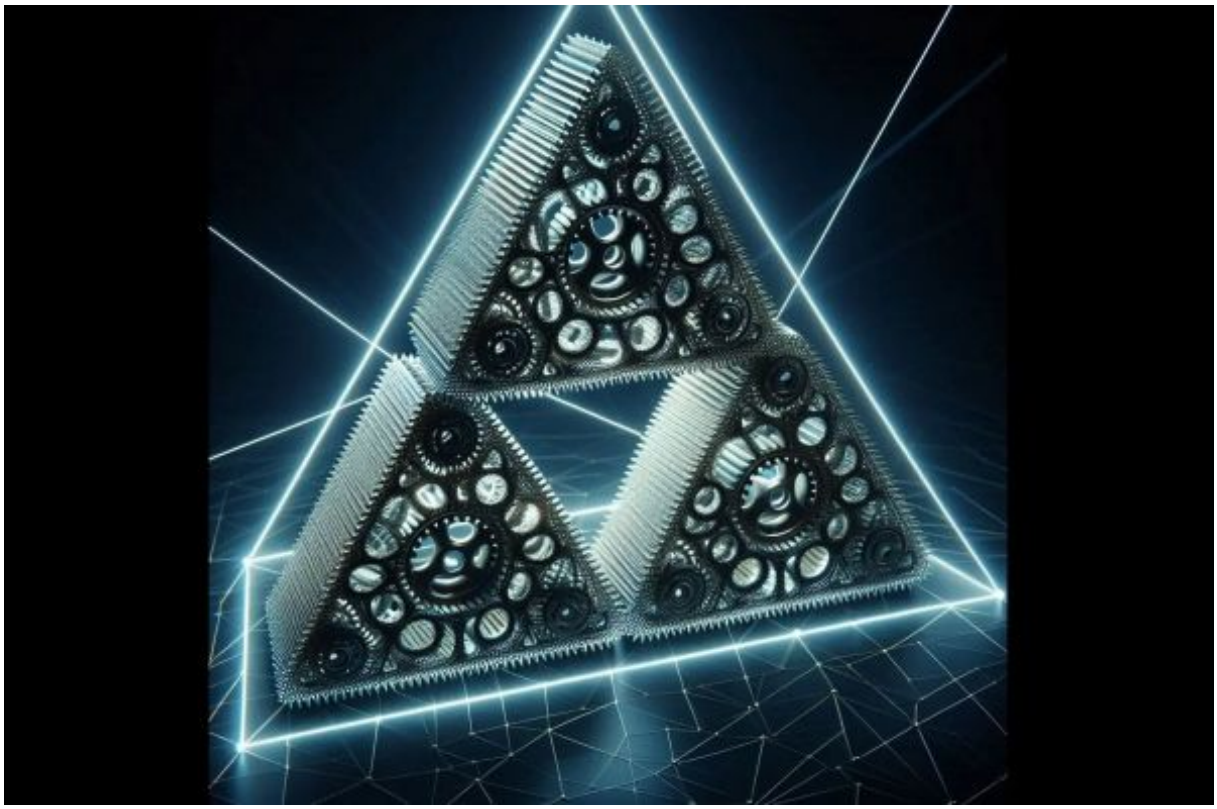


Presentan como los simuladores cuanticos pueden explorar fenomenos que de otro modo serian inaccesibles

Un Coloquio en Reviews of Modern Physics ofrece una introduccion al campo de la simulacion cuantica de geometrias exoticas sin un equivalente en el mundo real. La revision destaca las oportunidades unicas que ofrecen diversas plataformas y analiza los novedosos fenomenos fisicos que pueden abordarse con ellas.

March 31, 2025

Muchos problemas importantes en la fisica, especialmente en areas como la fisica de bajas temperaturas y la fisica de muchos cuerpos, siguen siendo poco comprendidos debido a la enorme complejidad de la mecanica cuantica subyacente. Para abordar estos desafios, los cientificos recurren a la simulacion cuantica, una tecnica que permite manipular y observar el comportamiento de un sistema cuantico bien controlado en el laboratorio, con el fin de estudiar sistemas cuanticos que de otro modo serian inaccesibles.

La simulacion cuantica nacio con el objetivo de abordar sistemas de interes en el mundo real, como materiales electronicos, superconductores y moleculas complejas. Sin embargo, los fisicos pronto se dieron cuenta de que los simuladores cuanticos podian ir mas alla de la mera imitacion de sistemas existentes. Esto abrio una nueva linea de investigacion: utilizar simuladores cuanticos para explorar sistemas sin equivalente en el mundo real. Conceptos que podrian parecer sacados de la ciencia ficcion, como la materia cuantica sintetica, espacios de dimensiones superiores que conducen a una "realidad cuantica aumentada" o agujeros negros analogicos, se convirtieron en objeto de estudio cientifico.
Recientemente, un equipo de investigadores liderado por Tobias Grass del Donostia International Physics Center en San Sebastian, con la participacion del **Prof. ICREA del ICFO Maciej Lewenstein**, asi como investigadores de ETH Zurich, Universite de Lyon y TU Dortmund University, ha publicado un Coloquio en Reviews of Modern Physics, en el que presentan una vision integral de estos simuladores cuanticos exoticos. En el abarcan diversas plataformas, en particular aquellas basadas en atomos, electrones y fotones, destacando tanto sus fortalezas como sus limitaciones. El articulo tambien analiza como estas plataformas pueden permitir a los cientificos investigar fenomenos en un amplio rango de campos, desde la fisica de la materia condensada hasta la cosmologia.
Segun los autores, una posibilidad emocionante es el uso de simuladores cuanticos para crear materia cuantica sintetica con geometrias exoticas que conducen a fenomenos de localizacion. En este escenario, la funcion de onda de una particula o grupo de particulas, que normalmente se extenderia sobre un area espacial amplia, se localiza debido a la propia geometria, que induce al confinamiento. Esta materia cuantica sintetica tambien puede albergar fases topologicas, estados exoticos de la materia definidos por patrones de entrelazamiento en lugar de la disposicion y movilidad atomica, lo que la convierte en un sistema ideal para estudiar detalladamente mediante simuladores cuanticos. Estos simuladores tambien pueden usarse para explorar modelos cosmologicos que involucran espacios-tiempo curvos e incluso para simular la fisica de los agujeros negros, como el efecto Unruh y la radiacion de Hawking. Estos fenomenos son increiblemente debiles y dificiles de observar con tecnicas astronomicas, pero los simuladores cuanticos podrian hacerlos detectables en el laboratorio.
De cara al futuro, los investigadores senalan: "Dadas las dificultades para simular estos sistemas de manera clasica, los simuladores cuanticos pueden desarrollar todo su potencial, abriendo la puerta a cuestiones fundamentales de la fisica cuantica de muchos cuerpos. Nuestra revision muestra que se han sentado las bases para futuras exploraciones del mundo interactuante de fractales, cuasicristales, espacios curvos y de dimensiones superiores".

Referencia:

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 muestra la concepcion artistica de una geometria fractal conocida como junta de Sierpinski. Esta geometria fractal surge a traves de una construccion autosimilar de triangulos cada vez mas pequenos. Como se analiza en el Coloquio, los simuladores cuanticos modernos pueden generar sinteticamente este tipo de estructuras y explorar la interaccion entre la mecanica cuantica y geometrias exoticas, dando lugar a caracteristicas novedosas como localizacion no estandar y propiedades topologicas. Creado con Microsoft AI image generator, por Tobias Grass.

Agradecimientos:
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 i¿½CU : Advanced Imaging of Matteri¿½ of the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)-EXC 056 -Project No. 390715994 and the European Research Council (ERC) under the Euro ean Union's Horizon 2020 research and innovation program under Grant Agreement No. 802 01. U. B. is also grateful for the financial support of the IBM Quantum Researcher Program. M L. acknowledges ERC AdG NOQIA; MCIN/AEI [PGC2018-0910.13039/501100011 33, CEX2019-000910-S/10.13039/501100011033, Plan National FIDEUA PID2019-106901GB- 00, and the Plan National STAMEENA PID2022-139099NB-I00 project funde by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by the i¿½European Union NextGenerationEU/PRTRi¿½ (PRTR-C17.I1), FPI]; QuantERA MAQS (G ant No. PCI2019-111828-2); QuantERA DYNAMITE (Grant No. PCI2022-132919; Qua tERA II Programme, cofunded by the European Union's Horizon 2020 program und

r Grant Agreement No. 101017733), the Ministry of Economic Affairs and Digital Transformatio
of the Spanish Government through the QUANTUM ENIA project call-Quantum Spain proj
ct, and the European Union through the Recovery, Transformation, and Re
ilience Plan-NextGenerationEU within the framework of the Digital Spain 2026 Agenda;
undacio Cellex; Fundacio Mir-Puig; Generalitat de Catalunya (European Social Fund FEDER a
d CERCA program, AGAUR Grant No. 2021 SGR 01452, and QuantumCAT Grant No. U16
011424, cofunded by the ERDF Operational Program of Catalonia 2014-2020); B
rcelona Supercomputing Center MareNostrum (FI-2023-1-0013);EUQuantumFlagship (PASQ
anS2.1, 101113690);EU Horizon 2020 FET-OPEN OPTOlogic (Grant No. 899794); EU Horizo
Europe Program (Grant Agreement No. 101080086-NeQST); the ICFO Internal i¿½Quant
mGaudii¿½ project; the European Union's Horizon 2020 program under the Marie Sk?o
owska-Curie Grant Agreement No. 847648; and i¿½La Caixa,i¿½ Junior Leaders fellowships,
i¿½La Caixa,i¿½ Foundation (ID No. 100010434): CF/BQ/PR23/11980043.