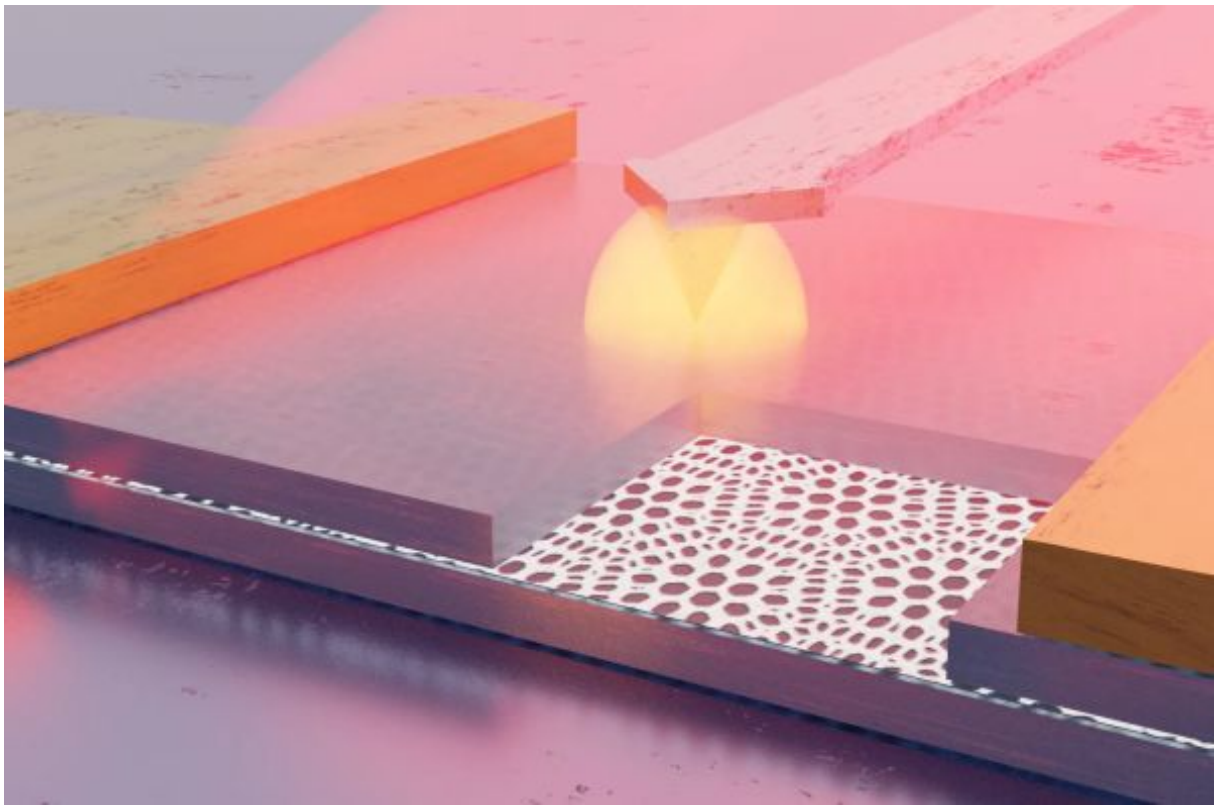

Toman imagenes espaciales de interacciones cuanticas en materiales rotados mediante una tecnica innovadora de microscopia nano-optica

Los materiales bidimensionales (2D) rotados albergan una amplia gama de fenomenos cuanticos correlacionados, como la superconductividad y el ferromagnetismo exotico. Su relevancia fundamental y tecnologica ha impulsado la busqueda de tecnicas capaces de capturar las intrincadas interacciones electronicas que dan lugar a estos comportamientos.
En un articulo reciente publicado en Nature Physics, investigadores del ICFO han presentado la nanoscopia fototermoelectrica como una herramienta innovadora para identificar fuertes correlaciones electronicas en materiales 2D rotados con una precision espacial de nanometros, revelando detalles clave que pasaron desapercibidos a los metodos

tradicionales.

January 02, 2026

En fisica cuantica, cuando un gran numero de electrones se juntan bajo condiciones externas minuciosamente ajustadas, empiezan a comportarse colectivamente, mostrando fuertes correlaciones que pueden dar lugar a superconductividad, aislantes correlacionados o formas exoticas de ferromagnetismo, entre otros. Esto ocurre de manera natural en los materiales bidimensionales rotados (capas de un atomo de grosor apiladas con una ligera rotacion entre ellas), por lo que se han convertido en plataformas muy convenientes a la hora de estudiar comportamientos correlacionados.

En un esfuerzo por desvelar los detalles mas intrincados y fundamentales de los fenomenos cuanticos correlacionados, los investigadores del ICFO, el **Dr. Sergi Batlle Porro**, el **Dr. Roshan Krishna Kumar**, el **Dr. Niels C. H. Hesp**, el **Dr. Petr Stepanov**, dirigidos por el **Prof. ICREA Frank Koppens**, han presentado recientemente en Nature Physics una nueva herramienta llamada **nanoscopia fototermoelectrica**. Demostrada con **grafeno tricapa simetrico rotado** (tres capas de grafeno, con una rotacion de 1,5° entre la capa central y la demas), la tecnica**identifico fuertes correlaciones electronicas** que no pueden explicarse mediante los modelos convencionales de semiconductores. Este estudio se llevo a cabo junto con Princeton University, University of Oxford, Donostia International Physics Center, National Institute for Materials Science (Tsukuba, Japan), IKERBASQUE, y la University of Notre Dame.

La nanoscopia fototermoelectrica funciona enfocando luz infrarroja en un punto caliente diminuto (en la escala de nanometros) sobre la muestra. Debido al llamado efecto Seebeck, el consiguiente aumento de temperatura genera un voltaje, el cual que puede mapearse con precision nanometrica. i¿½Registramos una respuesta termoelectrica muy inusual, lo cual s un claro indicador de la presencia de fisica correlacionadai¿½, explica el Dr. Sergi Ba lle Porro, primer autor del articulo. En ultima instancia, los investigadores obtuvieron una **representacion excepcionalmente detallada de como emergen y evolucionan las correlaciones fuertes en materiales 2D rotados**, incluyendo como diferentes angulos de rotacion y fuerzas de interaccion afectan su comportamiento, revelando asi **informacion clave que resultaba inaccesible usando los metodos anteriores**.

Los resultados experimentales fueron especialmente consistentes con el **modelo de fermiones pesados**. Segun este marco teorico, algunos electrones en el grafeno tricapa rotado se comportan como si tuvieran una masa mucho mayor, lo que les impide moverse libremente y contribuir a la corriente electrica, mientras que otros son moviles y si que conducen corriente. i¿½Esta disparidad no se observa en los tipicos semiconductoresi? ½, senala el Dr. Batlle. i¿½De hecho, esto promueve la produccion de interacciones fuerte , las cuales pueden dar lugar a fenomenos cuanticos exoticosi¿½. El equipo teorico col

borador de Princeton predijo que estos fenomenos se pueden estudiar mediante el efecto eebeck, una prediccion que resulto de lo mas
ertera. El equipo tambien descubrio que el comportamiento correlacionado aparece en u amplio rango de angulos, aproximadamente entre 1,30° y 1,55°, ofreciendo una ventana mucho mas amplia en comparacion con otras plataformas comunmente utilizadas, como l grafeno bicapa rotado. i¿½Con **condiciones de ingenieria menos exigentes**, el grafeno tricapa emerge como una plataforma atractiva y ajustable a la hora de estudiar fases correlacionadasi¿½, afirma el Prof. ICREA del ICFO Frank Koppens, investigador principal d l estudi
. Ahora, los investigadores quieren adaptar la nanoscopia fototermoelectrica para su uso a temperaturas inferiores a un Kelvin (mas adecuadas para detectar fenomenos cuantic s exoticos) y aplicarla a otros materiales 2D rotados, que podrian albergar comportamient s similares al de fermiones pesado

Reference:
Batlle Porro, S., C?lug?ru, D., Hu, H. et al. Photovoltage microscopy of symmetrically twisted trilayer graphene. Nat. Phys. (2025).
DOI: https://doi.org/10.1038/s41567-025-03071-9

Agradecimientos:
F.H.L.K. acknowledges support from the ERC TOPONANOP (726001), the Government of Spain (PID2019-106875GB-I00, PID2022-141081NB-I00, Severo Ochoa CEX2019-000910-S and CEX2024-001490-S, PCI2021-122020-2A funded by MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033), the European Union NextGenerationEU/PRTR (PRTR-C17.I1) within the FLAG-ERA grant [PhotoTBG], by ICFO, RWTH Aachen and ETHZ/Department of Physics, Fundacio Cellex, Fundacio Mir-Puig and Generalitat de Catalunya (CERCA, AGAUR, 2021 SGR 01443). Furthermore, the research leading to these results received funding from the European Union's Horizon 2020 programme under grant agreement no. 881603 (Graphene flagship Core3) and 820378 (Quantum flagship). This material is based upon work supported by the Air Force Office of Scientific Research under award no. FA8655-23-1-7047. Any opinions, findings and conclusions or recommendations expressed in this material are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of the United States Air Force. D.C. acknowledges the hospitality of the Donostia International Physics Center, at which this work was carried out. B.A.B. was supported by DOE grant no. DE-SC0016239. D.C. was supported by the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (grant agreement no. 101020833), the Simons Investigator programme (grant no. 404513), the Gordon and Betty Moore Foundation (grant no. GBMF8685 towards the Princeton theory programme), the Gordon and Betty Moore

Foundation's EPiQS Initiative (grant no. GBMF11070), the Office of Naval Research (ONR grant no. N00014-20-1-2303), the Global Collaborative Network Grant at Princeton University, BSF Israel US foundation grant no. 2018226 and NSF-MERSEC (grant no. MERSEC DMR 2011750). H.H. was supported by the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (grant agreement no. 101020833) and the Schmidt Fund Grant. P.S. acknowledges support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Sk?odowska-Curie grant no. 754510. S.B.P. acknowledges funding from the ?Presidencia de la Agencia Estatal deInvestigacion' within the PRE2020-094404 predoctoral fellowship. N.C.H.H. acknowledges funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Sk?odowska-Curie grant agreement ref. 665884. K.W. and T.T. acknowledge support from JSPS KAKENHI (grant refs. 19H05790, 20H00354 and 21H05233).