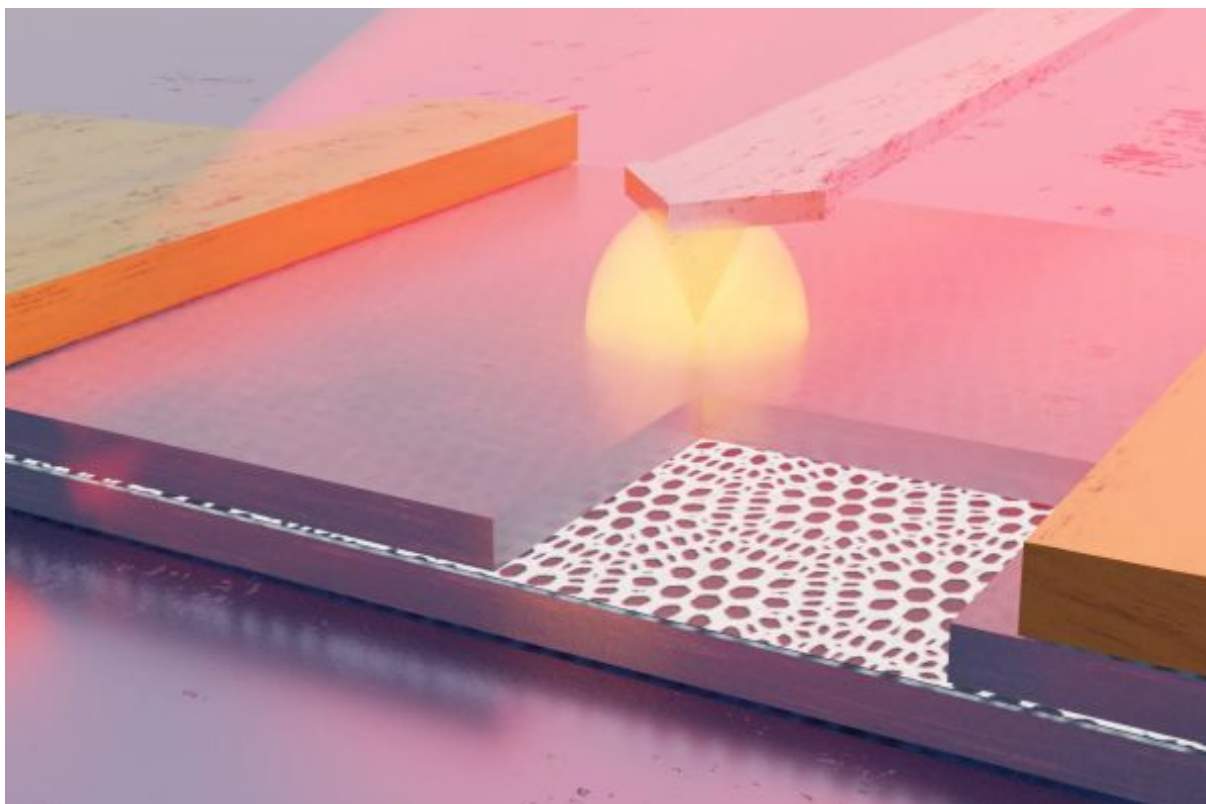




Toman imágenes espaciales de interacciones cuánticas en materiales rotados mediante una técnica innovadora de microscopía nano-óptica

Los materiales bidimensionales (2D) rotados albergan una amplia gama de fenómenos cuánticos correlacionados, como la superconductividad y el ferromagnetismo exótico. Su relevancia fundamental y tecnológica ha impulsado la búsqueda de técnicas capaces de capturar las intrincadas interacciones electrónicas que dan lugar a estos comportamientos.

En un artículo reciente publicado en *Nature Physics*, investigadores del ICFO han presentado la nanoscopia fototermoelectrónica como una herramienta innovadora para identificar fuertes correlaciones electrónicas en materiales 2D rotados con una precisión espacial de nanómetros, revelando detalles clave que pasaron desapercibidos a los métodos

tradicionales.

January 02, 2026

En física cuántica, cuando un gran número 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 exóticas de ferromagnetismo, entre otros. Esto ocurre de manera natural en los materiales bidimensionales rotados (capas de un átomo de grosor apiladas con una ligera rotación 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 más intrincados y fundamentales de los fenómenos cuánticos 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 fototermoelectrónica**. Demostrada con **grafeno tricapa simétrico rotado** (tres capas de grafeno, con una rotación de $1,5^\circ$ entre la capa central y la demás), la técnica **identifica fuertes correlaciones electrónicas** que no pueden explicarse mediante los modelos convencionales de semiconductores. Este estudio se llevó 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 fototermoelectrónica funciona enfocando luz infrarroja en un punto caliente diminuto (en la escala de nanómetros) sobre la muestra. Debido al llamado efecto Seebeck, el consiguiente aumento de temperatura genera un voltaje, el cual puede mapearse con precisión nanométrica. **¿Registramos una respuesta termoelectrónica muy inusual, lo cual es un claro indicador de la presencia de física correlacionada?** **¿**explica el Dr. Sergi Batlle Porro, primer autor del artículo. En última instancia, los investigadores obtuvieron una **representación excepcionalmente detallada de como emergen y evolucionan las correlaciones fuertes en materiales 2D rotados**, incluyendo como diferentes ángulos de rotación y fuerzas de interacción afectan su comportamiento, revelando así **información clave que resultaba inaccesible usando los métodos anteriores**.

Los resultados experimentales fueron especialmente consistentes con el **modelo de fermiones pesados**. Según este marco teórico, 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 eléctrica, mientras que otros son móviles y si que conducen corriente. **¿Esta disparidad no se observa en los típicos semiconductores?** **¿**senala el Dr. Batlle. **¿De hecho, esto promueve la producción de interacciones fuerte**, las cuales pueden dar lugar a fenómenos cuánticos exóticos **¿**. El equipo teórico 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 $1,30^\circ$ y $1,55^\circ$, ofreciendo una ventana
 mucho mas amplia en comparacion con otras plataformas comunmente utilizadas, como
 l grafeno bicapa rotado. **Condiciones de ingenieria menos exigentes**, el grafeno tricapa
 emerge como una plataforma atractiva y ajustable a la hora de estudiar fases
 correlacionadas $1/2$, 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 exóticos) 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 Skłodowska-Curie grant no. 754510. S.B.P. acknowledges funding from the 'Presidencia de la Agencia Estatal de Investigación' 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 Skłodowska-Curie grant agreement ref. 665884. K.W. and T.T. acknowledge support from JSPS KAKENHI (grant refs. 19H05790, 20H00354 and 21H05233).