



## **Preneu imatges espacials de les interaccions quantiques en materials girats mitjançant una tècnica innovadora de microscòpia nano-òptica**

En els materials bidimensionals (2D) girats es produeixen una àmplia gamma de fenòmens quàntics correlacionats, com la superconductivitat i el ferromagnetisme exòtic. La seva rellevància fonamental i tecnològica ha impulsat la recerca de tècniques capaces de capturar les intrincades interaccions electròniques que donen lloc a aquests comportaments.

En un article recent publicat a *Nature Physics*, investigadors de l'ICFO han presentat la nanoscòpia fototermoelectrònica com una eina innovadora per a identificar fortes correlacions electròniques en materials 2D girats amb una precisió espacial de nanòmetres, revelant detalls clau que van passar desapercebuts als mètodes tradicionals.

January 02, 2026

En física quàntica, quan un gran nombre d'electrons s'ajunten sota condicions externes ajustades minuciosament, comencen a comportar-se col·lectivament, mostrant fortes correlacions que poden donar lloc a superconductivitat, aïllants correlacionats o formes exòtiques de ferromagnetisme, entre d'altres. Això ocorre de manera natural en els materials bidimensionals girats (capes d'un àtom de gruix apilades amb una lleugera rotació entre elles), motiu pel qual s'han convertit en plataformes molt convenientes a l'hora d'estudiar comportaments correlacionats.

En un esforç col·lectiu per revelar els detalls més intricats i fonamentals dels fenòmens quàntics correlacionats, els investigadors de l'ICFO, **Dr. Sergi Batlle Porro**, el **Dr. Roshan Krishna Kumar**, el **Dr. Niels C. H. Hesp**, el **Dr. Petr Stepanov**, dirigits pel **Prof. ICREA Frank Koppens**, han presentat recentment a Nature Physics una nova eina anomenada **nanoscopia fototermoelectrònica**. Demostrada amb **grafe tricapa simètric girat** (tres capes de grafe amb una rotació d'1,5° entre la capa central i les altres), la tècnica va **identificar fortes correlacions electròniques** que no poden explicar-se mitjançant els models convencionals de semiconductors. Aquest estudi es va dur a terme conjuntament amb Princeton University, University of Oxford, Donostia International Physics Center, National Institute for Materials Science (Tsukuba, Japan), IKERBASQUE, i la University of Notre Dame.

La nanoscopia fototermoelectrònica funciona enfocant llum infraroja en un punt calent diminut (en l'escala de nanòmetres) sobre la mostra. Degut a l'anomenat efecte Seebeck, l'augment de temperatura resultant genera un voltatge, el qual pot mapar-se amb precisió nanomètrica. **¿Vam registrar una resposta termoelectrònica molt inusual, la qual cosa és un clar indicador de la presència de física correlacionada?** **¿Explica el Dr. Sergi Batlle Porro, primer autor de l'article. Finalment, els investigadors van obtenir una representació excepcionalment detallada de com emergeixen i evolucionen les correlacions fortes en materials 2D girats, incloent-hi com diferents angles de rotació i forces d'interacció afecten el seu comportament, revelant així informació clau que resultava inaccessible amb els mètodes anteriors.**

Els resultats experimentals estaven especialment alineats amb el **model de fermions pesants**. Segons aquest marc teòric, alguns electrons en el grafe tricapa girat es comporten com si tinguessin una massa molt més gran, cosa que els impedeix moure's lliurement i contribuir al corrent elèctric, mentre que d'altres són mòbils i sí que condueixen corrent. **¿Aquest fenomen a disparitat no s'observa en els semiconductors més típics?** **¿Assenyala el Dr. Batlle. ¿D'fet, això afavoreix la formació d'interaccions fortes, que poden donar lloc a fenòmens quàntics exòtics?** L'equip teòric col·laborador de Princeton va predir que aquests fenòmens es podien estudiar a través de l'efecte Seebeck, una predicció que va resultar realment e

certada. L'equip també va descobrir que el comportament correlacionat apareix en un ampli rang d'angles, aproximadament entre  $1,30^\circ$  i  $1,55^\circ$ , oferint un ventall molt més ampli en comparació amb altres plataformes comunament utilitzades, com el grafe bicapa girat. Amb condicions d'enginyeria menys exigents, el grafe tricapa es posiciona com una plataforma atractiva i ajustable a l'hora d'estudiar fases correlacionades, afirma el Prof. ICREA de l'ICFO Frank Koppens, investigador principal de l'estudi. Ara, els investigadors volen adaptar la nanoscopia fototermoelectrícula per al seu ús a temperatures inferiors a un Kelvin (més adequades per detectar fenòmens quàntics exòtics) i aplicar-la a altres materials 2D girats, que podrien mostrar comportaments similars als dels fermions pesants.

**Reference:**

Batlle Porro, S., Cugleru, 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>

**Agraiments:**

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).