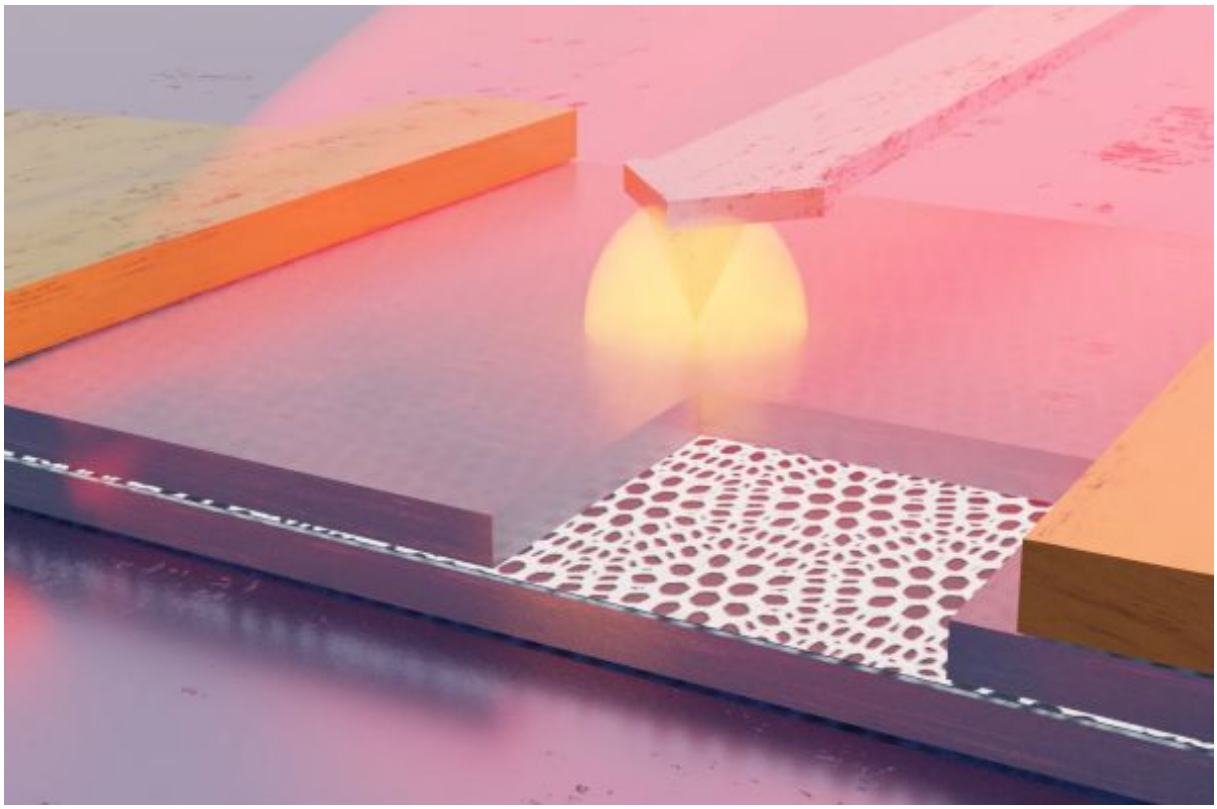


Prenen imatges espacials de les interaccions quantiques en materials girats mitjancant una tecnica innovadora de microscopia nano-optica

En els materials bidimensionals (2D) girats es produeixen una amplia gamma de fenomens quantics correlacionats, com la superconductivitat i el ferromagnetisme exotic. La seva rellevancia fonamental i tecnologica ha impulsat la recerca de tecniques capaces de capturar les intricades interaccions electroniques que donen lloc a aquests comportaments.
En un article recent publicat a Nature Physics, investigadors de l'ICFO han presentat la nanoscopia fototermoelectrica com una eina innovadora per a identificar fortes correlacions electroniques en materials 2D girats amb una precisio espacial de nanometres, revelant detalls clau que van passar desapercebuts als metodes tradicionals.

January 02, 2026

En fisica quantica, quan un gran nombre d'electrons s'ajunten sota condicions externes ajustades minuciosament, comencen a comportar-se col·lectivament, mostrant forte correlacions que poden donar lloc a superconductivitat, aillants correlacionats o forme exotiques de ferromagnetisme, entre d'altres. Aixo ocorre de manera natural en els material bidimensionals girats (capes d'un atom de gruix apilades amb una lleugera rotacio entr elles), motiu pel qual s'han convertit en plataformes molt convenients a l'hora d'estudia comportaments correlacionats

En un esforc col·lectiu per revelar els detalls mes intricats i fonamentals dels fenome s quantics correlacionats, els investigadors de l'ICFO, el **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 fototermoelectrica**. Demostrada amb **grafe tricapa simetric girat** (tres capes de grafe amb una rotacio d'1,5° entre la capa central i les altres), la tecnica va **identificar fortes correlacions electroniques** que no poden explicar-se mitjancant 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 fototermoelectrica funciona enfocant llum infraroja en un punt calent diminut (en l'escala de nanometres) sobre la mostra. Degut a l'anomenat efecte Seebeck, l'augment de temperatura resultant genera un voltatge, el qual pot mapar-se amb precisio nanometrica. i¿½Vam registrar una resposta termoelectrica molt inusual, la qual cosa es un clar indicad r de la presencia de fisica correlacionadai¿½, explica el Dr. Sergi Batlle Porro, primer auto de l'article. Finalment, els investigadors van obtenir una **representacio excepcionalment detallada de com emergeixen i evolucionen les correlacions fortes en materials 2D girats**, incloent-hi com diferents angles de rotacio i forces d'interaccio afecten el seu comportament, revelant aixi **informacio clau que resultava inaccessible amb els metodes anteriors**.

Els resultats experimentals estaven especialment alineats amb el **model de fermions pesants**. Segons aquest marc teoric, alguns electrons en el grafe tricapa girat es comporten com si tinguessin una massa molt mes gran, cosa que els impedeix moure's lliurement i contribuir al corrent electric, mentre que d'altres son mobils i si que condueixen corrent. i¿½Aques a disparitat no s'observa en els semiconductors mes tipicsi¿½, assenyala el Dr. Batlle. i¿½D fet, aixo afavoreix la formacio d'interaccions fortes, que poden donar lloc a fenomens qu ntics exoticsi¿½. L'equip teoric col·laborador de Princeton va predir que aquests fe omens es podien estudiar a traves de l'efecte Seebeck, una prediccio que va resultar realment e

certada. L'equip tambe va descobrir que el comportament correlacionat apareix en un a
pli rang d'angles, aproximadament entre 1,30° i 1,55°, oferint un ventall molt m
s ampli en comparacio amb altres plataformes comunament utilitzades, com el grafe bi
apa girat. i¿½Amb condicions **d'enginyeria menys exigents**, el grafe tricapa es posiciona com
una plataforma atractiva i ajustable a l'hora d'estudiar fases correlacionadesi¿½, afirma
l Prof. ICREA de l'ICFO Frank Koppens, investigador principal de l'estud
. Ara, els investigadors volen adaptar la nanoscopia fototermoelectrica per al seu us
a temperatures inferiors a un Kelvin (mes adequades per detectar fenomens quantics exotics)
i aplicar-la a altres materials 2D girats, que podrien mostrar comportaments similars al de
s fermions pesant

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

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 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).