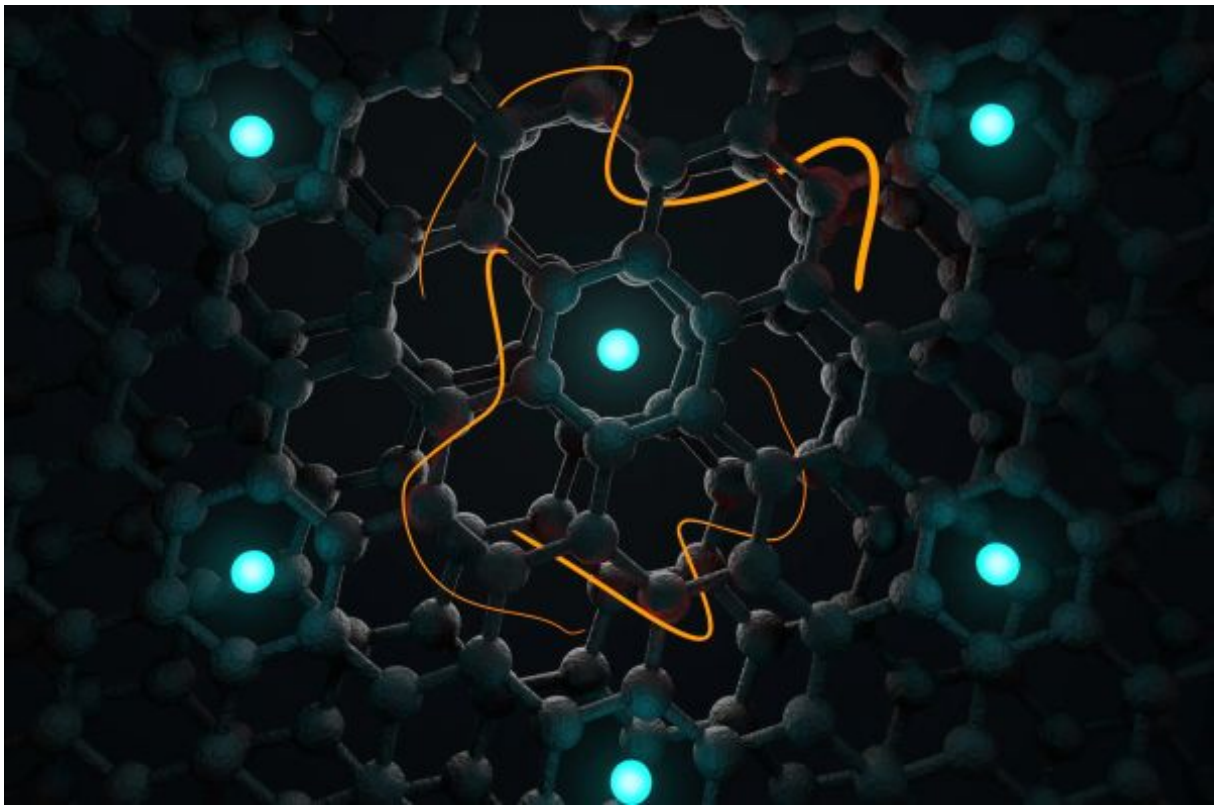

El grafe bicapa girat en angle magic conte dues especies electroniques diferents

Un equip d'investigadors ha proporcionat evidencia directa de la coexistencia de dues ?especies' electroniques en el grafe bicapa girat en angle magic. La tecnica, basada en mesures termoelectriques, ofereix una nova visio de les fases fortament correlacionades d'aquesta plataforma de materia condensada.

June 04, 2025

A mitjans del segle XX es va teoritzar la idea d'una capa de grafit d'un sol atom de gruix. El terme i¿½grafei¿½ va ser introduit alguns anys mes tard, el 1986, pels quimics Hanns-Pet r Boehm, Ralph Setton i Eberhard Stumpp. Un cop es van aconseguir produir capes individua s de grafe, els cientifics van adonar-se de les seves propietats sorprenents: flexibles, lleuge s pero forts, excel·lents conductors termics i electrics, i hostes d'una gran varietat de fenomens fisics intrigan
s. Tanmateix, resulta que dues capes de grafe poden formar un sistema encara mes fascina

t. Aixo es va evidenciar al marc de 2018, quan un equip internacional liderat per Pa
lo Jarillo-Herrero del MIT va informar sobre el descobriment de la superconductivitat despres
d'apilar dues capes de grafe amb un angle de rotacio d'aproximadament 1,1°. En aquest angl
tan especific, conegut com a ?angle magic', les propietats electroniques canvien de maner
tan drastica que sorgeixen fenomens fisics exotics, com la superconductivitat descoberta
Malgrat els enormes i nombrosos esforcos en la recerca sobre el grafe bicapa girat en angl
magic (MATBG, per les seves sigles en angles), encara queden moltes preguntes obertes
Una d'elles esta relacionada amb la seva estructura de bandes d'energia. Normalment, en u
solid, els electrons poden moure's a traves d'un rang de bandes d'energia, i la curvatur
d'aquestes bandes determina com de rapid poden desplacar-se els electrons, es a dir, quin
es la seva massa efectiva. Pero en el MATBG, algunes de les bandes son gairebe planes. Co
son els electrons en aquestes bandes planes? Com es comporten i quines son le
conseqüencies d'aquest comportamen
? Ara, els investigadors de l'ICFO, el **Dr. Rafael Luque Merino**, el **Dr. Jaime Diez-Merida** (actualment membre del grup STM on 2D Quantum Materials de l'ICFO), l'**Andres Diez-Carlon**, el **Dr. Paul Seifert**, liderats per l'antic Professor de l'ICFO, el Dr. Dmitri K. Efetov, ara Professor a Ludwig-Maximilians-Universitat ¡ Munich Center for Quantum Science and Technology (MCQST), juntament amb altres centres de recerca, han proporcionat evidenci
experimental de la coexistencia de dues ?especies' electroniques en les bandes planes de
MATBG. i¿½Aixo ja s'havia insinuat experimentalment abans, pero encara en mancava
na evidencia directa, que ara hem proporcionat per primera vegadai¿½, comenta el Dr. R
fael Luque Merino, primer autor de l'art
cle. Una de les especies correspon a electrons itinerants, similars als electrons ?lli
res' convencionals. Aquests electrons poden moure's a traves del material, transportant carr
ga i calor. A causa de la seva alta mobilitat i baixa massa efectiva, de vegades se'ls an
mena ?portadors lleugers'. L'altra especie es troba en orbitals altament localitzats, on els elec
rons presenten interaccions molt fortes entre si, la qual cosa provoca una reduccio drastica
e la seva mobilitat. En conseqüencia, aquests ?portadors pesants' no contrib
eixen significativament al transport de carrega i

Els investigadors van registrar una resposta termoelectrica poc convencional

La interaccio entre portadors pesants i lleugers, que tenen propietats molt diferents, va donar lloc a una resposta termoelectrica inusual. Per registrar-la, els investigadors van utilitzar un feix laser enfocat per escalfar localment els electrons del MATBG. Ajustant adequadament el muntatge experimental, van aconseguir ?dirigir' el gradient de temperatura que seguien els electrons calents. Com que els electrons transporten carrega, aixo va generar de manera natural un voltatge, es a dir, un senyal termoelectric. i¿½Seria natur
l esperar que la resposta termoelectrica global de tots els electrons es cancel·les en ce
ts nivells d'ocupacio de les bandes planes,i¿½ va dir el Dr. Luque Merino. i¿½Pero aques

no es el cas. Resulta que, en aquestes ocupacions especifiques, els portadors pesant estan increiblement localitzats i no contribueixen al senyal termoelectric. Aixo es degut a a seva naturalesa localitzada i fortament interactu

El metode proposat, basat en mesures termoelectriques, ha demostrat ser una eina potent per explorar l'asimetria en les propietats dels electrons en bandes planes. Com que la presencia d'interaccions fortes entre electrons fa temps que es coneix com la causa subjacent de molts efectes fisics correlacionats, **la tecnica tambe podria aplicar-se a moltes altres fases correlacionades que apareixen en materials 2D girats**.

A mes, l'equip va observar que el sistema es comportava de manera diferent segons la temperatura. En particular, a temperatures baixes (criogeniques), els portadors lleugers dominaven la resposta. Pero, sorprenentment, a temperatures mes altes, els rols s'invertien. i¿½Hem descobert que aquests resultats poden explicar-se de manera natural dins aque t escenari de dues especies electroniques, mitjancant el model anomenat Topological Heavy Fermion per al grafe bicapa girat,i¿½ explica el Dr. Luque Merino. Segons aquest mode , proposat per Andrei Bernevig i Zhi-Da Song, les termoelectricitats tant a baixa com a al a temperatura poden entendre's d'una manera forca elegant. i¿½**Despres del nostre descobriment, crec que cada vegada mes persones exploraran aquest marc de ?fermions pesants' per modelar les propietats del grafe girat. Amb sort, aixo ajudara a aclarir com funcionen aquests materials tan intrigants**.i¿

Referencia:
Merino, R.L., C?lug?ru, D., Hu, H. et al. Interplay between light and heavy electron bands in magic-angle twisted bilayer graphene. Nat. Phys. (2025).
DOI: https://doi.org/10.1038/s41567-025-02912-x

Agraiments:
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 number 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 number 101020833) and by Simons Investigator grant number 404513, the Gordon and Betty Moore Foundation through grant number GBMF8685 towards the Princeton theory programme, the Gordon and Betty Moore Foundation's EPiQS Initiative (grant number GBMF11070), the Office of Naval Research (ONR grant number N00014-20-1-2303), the Global Collaborative Network Grant at Princeton University, BSF Israel US foundation number 2018226 and NSF-MERSEC (grant number MERSEC DMR 2011750). D.C. also gratefully acknowledges the support provided by the Leverhulme Trust. H.H. was supported by the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (grant agreement

number 101020833) and the Schmidt Fund Grant. P.S. acknowledges support from the Alexander von-Humboldt Foundation and the German Federal Ministry for Education and Research through the Feodor-Lynen programme. J.D.-M. acknowledges support from the INPhINIT ?la Caixa' Foundation (ID 100010434) fellowship programme (grant number LCF/BQ/DI19/11730021). D.K.E. acknowledges funding from the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (grant agreement number 852927) and the German Research Foundation (DFG) under the priority programme SPP2244 (project number 535146365). K.W. and T.T. acknowledge support from the Elemental Strategy Initiative conducted by the MEXT, Japan (grant number JPMXP0112101001), and JSPS KAKENHI (grant numbers 19H05790, 20H00354 and 21H05233).