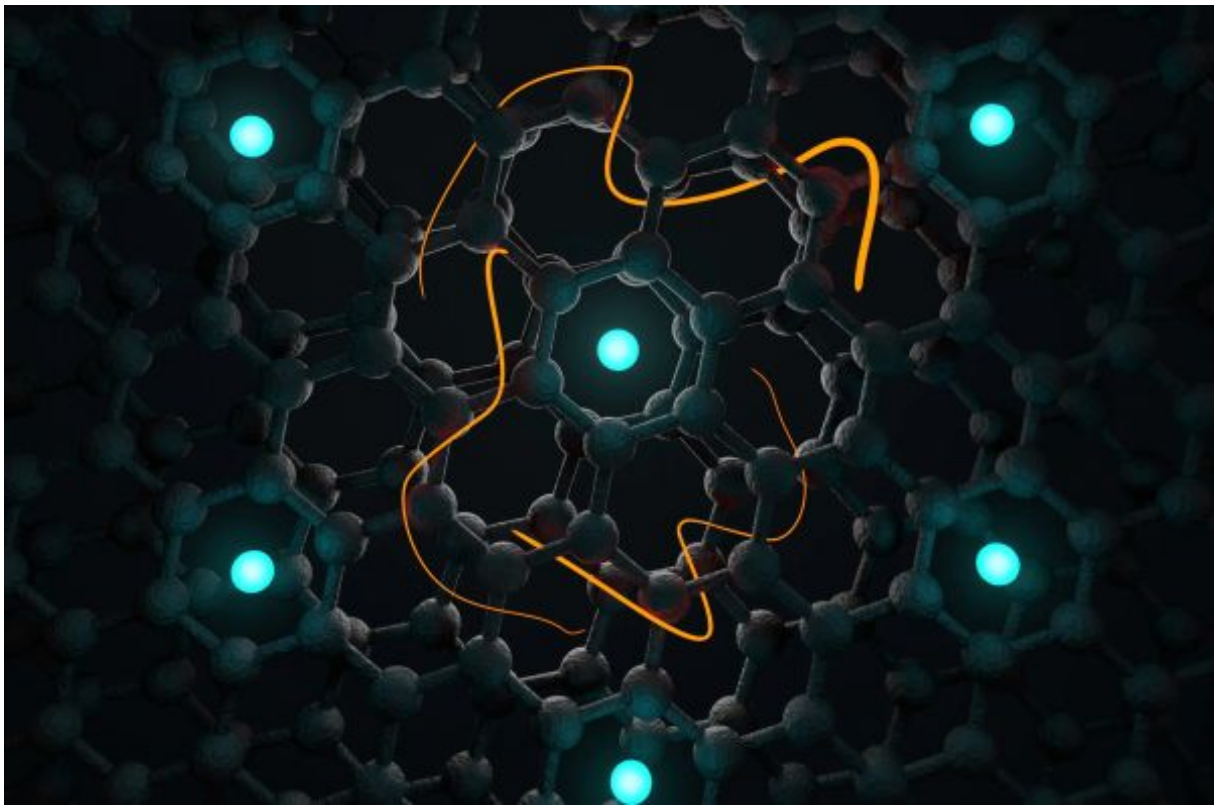


El grafeno bicapa rotado en angulo magico alberga dos especies electronicas distintas

Un equipo de investigadores ha proporcionado evidencia directa de la coexistencia de dos ?especies' electronicas en el grafeno bicapa rotado en angulo magico. La tecnica, basada en mediciones termoelectricas, ofrece una nueva vision de las fases fuertemente correlacionadas de esta plataforma de materia condensada.

June 04, 2025

A mediados del siglo XX, se teorizo la idea de una capa de grafito de un solo atomo de grosor. El termino i¿½grafenoi¿½ fue introducido algunos anos mas tarde, en 1986, por l s quimicos Hanns-Peter Boehm, Ralph Setton y Eberhard Stumpp. Una vez que se log o producir capas individuales de grafeno, los cientificos empezaron a darse cuenta de s s asombrosas propiedades: flexibles, ligeros pero fuertes, excelentes conductores termicos y electricos, y huespedes de una gran variedad de fenomenos fisicos intrigante

. Sin embargo, resulta que dos capas de grafeno pueden formar un sistema aun m
s fascinante. Esto se evidencio en marzo de 2018, cuando un equipo internacional liderado p
r Pablo Jarillo-Herrero del MIT reporto el descubrimiento de la superconductividad tras apilar
dos capas de grafeno con un angulo de torsion de aproximadamente 1.1°. Bajo este angul
tan especifico, llamado ?angulo magico', las propiedades electronicas cambian de forma ta
drastica que surgen fenomenos fisicos exoticos, como la superconductividad descubierta
A pesar de los enormes y numerosos esfuerzos en torno a la investigacion del grafeno bicap
rotado en angulo magico (MATBG, por sus siglas en ingles), todavia quedan mucha
preguntas abiertas. Una de ellas tiene que ver con su estructura de bandas de energia
Normalmente, en un solido, los electrones pueden moverse a traves de un rango de banda
de energia, y la curvatura de estas bandas determina que tan rapido pueden desplazarse lo
electrones, es decir, cual es su masa efectiva. Pero en el MATBG, algunas de las bandas so
casi planas. ¿Como son los electrones en estas bandas planas? ¿Como se comportan y cua
es son las consecuencias de dicho comportamien
o? Ahora, los investigadores del ICFO, el **Dr. Rafael Luque Merino**, el **Dr. Jaime Diez-Merida** (actualmente miembro del grupo STM on 2D Quantum Materials del ICFO), **Andres Diez-Carlon**, el **Dr. Paul Seifert**, liderados por el antiguo Profesor del ICFO, el Dr. Dmitri K. Efetov, ahora Profesor en Ludwig-Maximilians-Universitat y Munich Center for Quantum Science and Technology (MCQST), junto con otros centros de investigacion, han proporcionado evidencia experimental de la coexistencia de dos ?especies' electronicas en las bandas planas del MATBG. i¿½Esto ya se habia insinuado experimentalmente antes, pe
o faltaba evidencia directa, que ahora hemos proporcionado por primera vezi¿½, compart
el Dr. Rafael Luque Merino, primer autor del artic
lo. Una de las especies corresponde a electrones itinerantes, similares a los electrones ?lib
es' convencionales. Estos electrones pueden moverse a traves del material, transportando c
rga y calor. Debido a su alta movilidad y baja masa efectiva, a veces se les denomina ?portad
res ligeros'. La otra especie reside en orbitales altamente localizados, donde los electr
nes presentan interacciones muy fuertes entre si, lo que causa una drastica reduccion e
su movilidad. En consecuencia, estos ?portadores pesados' no contribuyen de ma
era significativa al transporte de carga y ca

Los investigadores registraron una respuesta termoelectrica inusual

La interaccion entre portadores pesados y ligeros, que tienen propiedades muy distintas, dio lugar a una respuesta termoelectrica inusual. Para registrarla, los investigadores utilizaron un haz laser enfocado para calentar localmente a los electrones en el MATBG. Ajustando adecuadamente el montaje experimental, lograron ?dirigir' el gradiente de temperatura que seguian los electrones calientes. Como los electrones transportan carga, esto genero naturalmente un voltaje, es decir, una senal termoelectrica. i¿½Uno podria esperar que
a respuesta termoelectrica global de todos los electrones se cancelara en ciertos niveles

e ocupacion de las bandas planas,i¿½ dijo el Dr. Luque Merino. i¿½Pero ese no es el caso. Resulta que, en esas ocupaciones especificas, los portadores pesados estan increibl mente localizados y no contribuyen a la senal termoelectrica. Esto ocurre debido a su natu aleza localizada y fuertemente interactuan

El metodo propuesto, basado en mediciones termoelectricas, demostro ser una herramienta potente para investigar la asimetria en las propiedades de los electrones en bandas planas. Dado que la presencia de fuertes interacciones entre electrones ha sido reconocida durante mucho tiempo como la causa subyacente de varios efectos fisicos correlacionados, **la tecnica podria aplicarse tambien a muchas otras fases correlacionadas que aparecen en materiales 2D rotados.**

Ademas, el equipo observo que el sistema se comportaba de manera diferente segun la temperatura. En particular, a temperaturas bajas (criogenicas), los portadores ligeros dominaban la respuesta. Pero, sorprendentemente, a temperaturas mas altas, los roles se invertian. i¿½Descubrimos que estos resultados pueden explicarse naturalmente dentro e este escenario de dos especies electronicas, mediante el llamado modelTopological Heavy Fermion para el grafeno bicapa rotado,i¿½ explica el Dr. Luque Merino. Segun este model , propuesto por Andrei Bernevig y Zhi-Da Song, las termoelectricidades tanto a baja como a alta temperatura pueden entenderse de forma bastante elegante. i¿***Tras nuestro descubrimiento, creo que cada vez mas personas exploraran este marco de ?fermiones pesados' a la hora de modelar las propiedades del grafeno rotado. Con suerte, esto arrojara mas luz sobre estos materiales tan intrigantes***.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

Agradecimientos:
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).