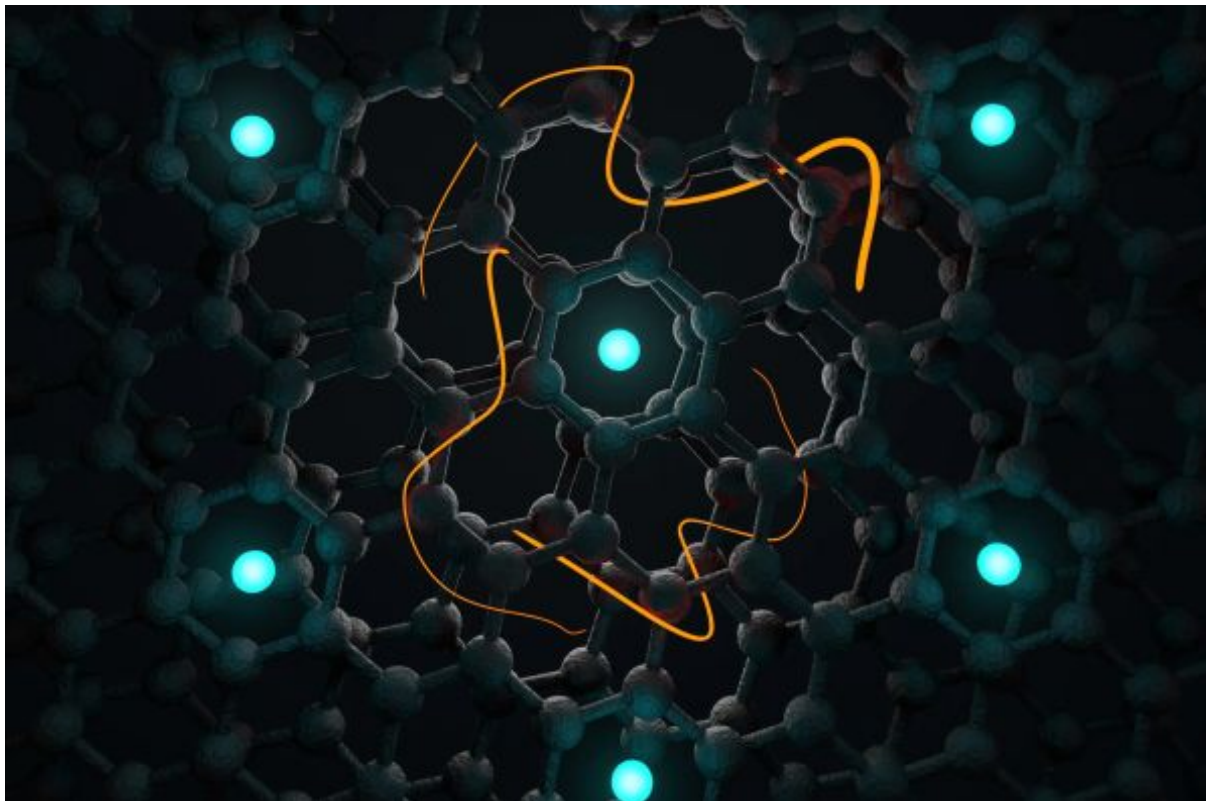




El grafeno bicapa rotado en angulo magico alberga dos especies electronicas distintas

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 teorizó la idea de una capa de grafito de un solo átomo de grosor. El término ['grafeno'](#) fue introducido algunos años más tarde, en 1986, por los químicos Hanns-Peter Boehm, Ralph Setton y Eberhard Stumpp. Una vez que se logró producir capas individuales de grafeno, los científicos empezaron a darse cuenta de sus asombrosas propiedades: flexibles, ligeros pero fuertes, excelentes conductores térmicos y eléctricos, y huéspedes de una gran variedad de fenómenos físicos intrigante

. Sin embargo, resulta que dos capas de grafeno pueden formar un sistema aun mas fascinante. Esto se evidencio en marzo de 2018, cuando un equipo internacional liderado por 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 angulo tan especifico, llamado 'angulo magico', las propiedades electronicas cambian de forma tan 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 bicapa rotado en angulo magico (MATBG, por sus siglas en ingles), todavia quedan muchas 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 los electrones, es decir, cual es su masa efectiva. Pero en el MATBG, algunas de las bandas son casi planas. ¿Como son los electrones en estas bandas planas? ¿Como se comportan y cuales son las consecuencias de dicho comportamiento?

Ahora, los investigadores del ICFO, **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. ¿Esto ya se habia insinuado experimentalmente antes, pero faltaba evidencia directa, que ahora hemos proporcionado por primera vez? ¿Comparto el Dr. Rafael Luque Merino, primer autor del articulo.

Una de las especies corresponde a electrones itinerantes, similares a los electrones 'libres' convencionales. Estos electrones pueden moverse a traves del material, transportando carga y calor. Debido a su alta movilidad y baja masa efectiva, a veces se les denomina 'portadores ligeros'. La otra especie reside en orbitales altamente localizados, donde los electrones presentan interacciones muy fuertes entre si, lo que causa una drastica reduccion en su movilidad. En consecuencia, estos 'portadores pesados' no contribuyen de manera significativa al transporte de carga y calor.

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. ¿Uno podria esperar que la respuesta termoelectrica global de todos los electrones se cancelara en ciertos niveles?

la ocupación de las bandas planas, dijo el Dr. Luque Merino. Pero ese no es el caso. Resulta que, en esas ocupaciones específicas, los portadores pesados están increíblemente localizados y no contribuyen a la señal termoelectrica. Esto ocurre debido a su naturaleza localizada y fuertemente interactúan

El método propuesto, basado en mediciones termoelectricas, demuestra ser una herramienta potente para investigar la asimetría 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 físicos correlacionados, la técnica podría aplicarse también a muchas otras fases correlacionadas que aparecen en [materiales 2D](#) rotados.

Además, el equipo observó que el sistema se comportaba de manera diferente según la temperatura. En particular, a temperaturas bajas (criogénicas), los portadores ligeros dominaban la respuesta. Pero, sorprendentemente, a temperaturas más altas, los roles se invertían. Descubrimos que estos resultados pueden explicarse naturalmente dentro de este escenario de dos especies electrónicas, mediante el llamado modelo Topological Heavy Fermion para el grafeno bicapa rotado, explica el Dr. Luque Merino. Según este modelo, propuesto por Andrei Bernevig y Zhi-Da Song, las termoelectricidades tanto a baja como a alta temperatura pueden entenderse de forma bastante elegante. **Tras nuestro descubrimiento, creo que cada vez más personas explorarán este marco de 'fermiones pesados' a la hora de modelar las propiedades del grafeno rotado. Con suerte, esto arrojará más luz sobre estos materiales tan intrigantes.**

Referencia:

Merino, R.L., Cugurru, 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).