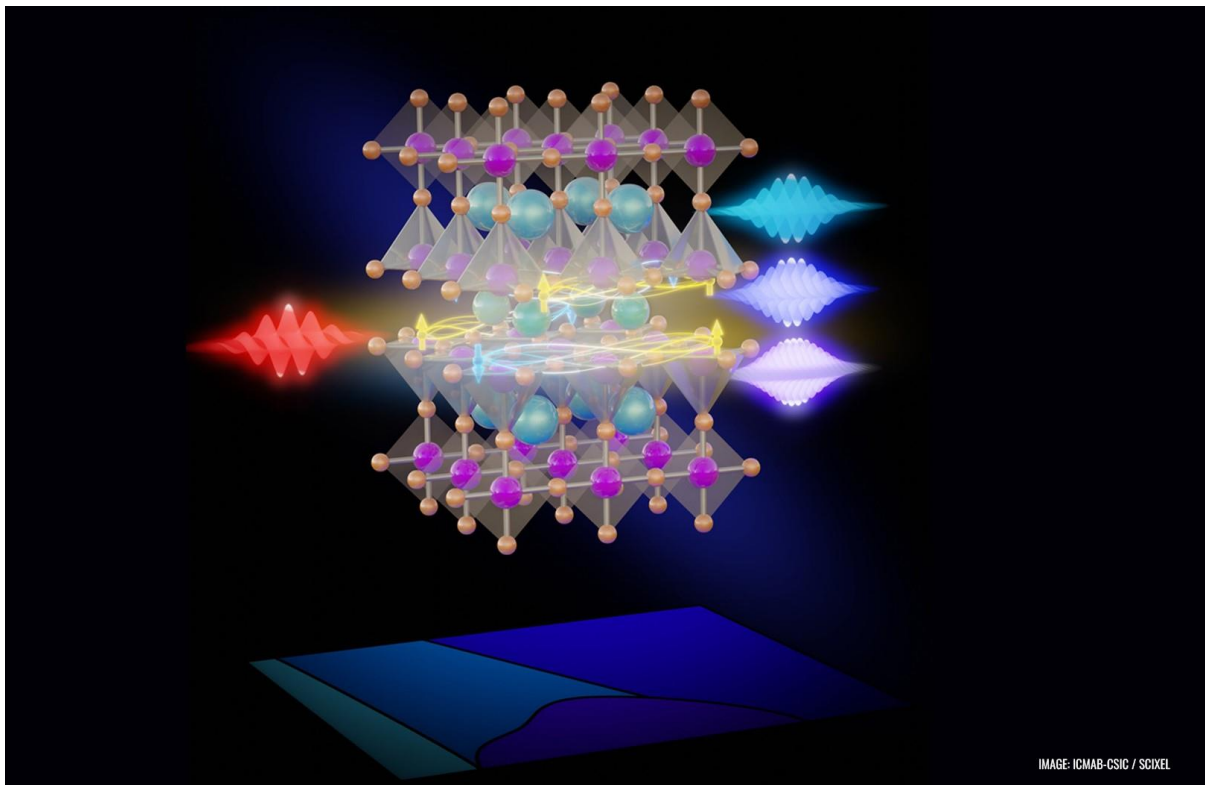




La espectroscopia de altos armónicos revela las transiciones de fase de los superconductores de alta temperatura

Investigadores del ICFO, el ICMAB-CSIC y el Guangdong Technion-Israel Institute of Technology han desarrollado una nueva metodología para investigar y medir las transiciones de fase cuánticas de un superconductor de alta temperatura mediante la espectroscopía de altos armónicos.



Estructura cristalina del superconductor $YBa_2Cu_3O_{7-d}$ (YBCO) iluminado por una fuerte luz láser (rojo). Los procesos electrónicos ultrarrápidos inducidos en el material conducen a la radiación de luz a altas frecuencias (láser lila), predominantemente a múltiplos de la frecuencia láser. Este efecto, conocido como generación de alta armónica, se utiliza para investigar la evolución dinámica de las transiciones de fase cuántica en estos compuestos y proporcionar una nueva visión de la dinámica microscópica subyacente de la formación de pares de Cooper.

Los superconductores son materiales capaces de conducir la electricidad sin ninguna resistencia. Este fenómeno se puede observar en materiales enfriados por debajo de la llamada temperatura de transición de los superconductores, a menudo a temperaturas muy bajas (unos pocos grados por encima del 0 absoluto). Entre estos materiales se encuentran los llamados superconductores de alta temperatura que se comportan como superconductores a temperaturas superiores a 77K (el punto de ebullición del nitrógeno líquido). Estos materiales están demostrando ser esenciales en el desarrollo de nuevos dispositivos electrónicos y de procesamiento de la información, así como de ordenadores cuánticos ópticos e incluso para mejorar la eficiencia de las líneas de distribución eléctrica.



Sin embargo, se ha visto que la superconductividad a alta temperatura está estrechamente ligada al control de su dinámica microscópica. Hasta ahora, la detección de las diferentes fases cuánticas microscópicas en estos materiales ha sido todo un reto. No sólo los procesos físicos de estos estados dinámicos siguen siendo incompletos debido a la amplia gama de estados cuánticos que presentan, sino que los métodos actuales utilizados para explorar estas dinámicas a escalas microscópicas carecen de sensibilidad suficiente. Por tanto, se necesitan nuevas herramientas para comprender mejor la evolución dinámica de las fases de este tipo de superconductores.

Ahora, en un estudio internacional, los investigadores del ICFO Utso Bhattacharya, Ugaitz Elu, Tobias Grass, Piotr T. Grochowski, Themistoklis Sidiropoulos, Tobias Steinle e Igor Tyulnev, dirigidos por los profesores de ICREA Jens Biegert y Maciej Lewenstein, en colaboración con los investigadores del ICMAB-CSIC, Jordi Alcalà y Anna Palau, y Marcelo Ciappina, del Guangdong Technion-Israel Institute of Technology, proponen una nueva metodología basada en el uso de la espectroscopia de altos armónicos (HHS por sus siglas en inglés) para investigar las transiciones entre las diferentes fases del YBCO, un material cerámico compuesto por óxidos de cobre, yodo y bario y que es un conocido superconductor de alta temperatura. Es la primera vez que se utiliza una metodología de diagnóstico y detección no lineal y no perturbadora para comprender el comportamiento de materiales correlacionados.

A la vista de los resultados experimentales obtenidos, los investigadores también han ido más allá y presentan un nuevo modelo teórico para identificar la conexión entre los espectros ópticos medidos y la transición entre los diferentes estados cuánticos del YBCO: metal extraño, “pseudogap” y superconductor. El estudio se ha publicado recientemente en la revista PNAS.

En su experimento, los investigadores utilizaron películas ultradelgadas (de unos 100 nm de espesor) de YBCO montadas sobre un micro refrigerador. Primero, caracterizaron las propiedades superconductoras de las películas de YBCO para confirmar la calidad de las muestras. A continuación, utilizando pulsos ultracortos de láser infrarrojo, los autores del estudio indujeron la generación de altos armónicos en las muestras del material, colocadas dentro de una cámara de vacío y enfriadas a una temperatura de 77K.

Los altos armónicos son los fotones de alta energía emitidos por los electrones de un sistema cuando éste se coloca en un campo láser intenso. Estos fotones emitidos tienen una frecuencia muy superior a la del campo láser conductor.

Los investigadores registraron la radiación reflejada con un espectrógrafo para poder estudiar el espectro armónico, que contiene las huellas de esta respuesta óptica no lineal, y encontraron que está relacionado con las transiciones de fase.

Al ver estos resultados experimentales en el laboratorio y ante la falta de una teoría que pudiera explicar lo que se observaba en la práctica, los investigadores desarrollaron un nuevo modelo aproximado de Hubbard de campo fuerte para tratar de arrojar luz sobre la relación existente entre los altos armónicos medidos y la formación de los llamados “pares de Cooper”, es decir, los electrones emparejados responsables de la fase superconductor.



Al utilizar este nuevo modelo teórico, los espectros de altos armónicos calculados coincidieron con los datos experimentales. "El modelo reproduce fielmente la forma funcional de los datos de las mediciones en todo el rango de temperaturas y para varios órdenes de magnitud de amplitud armónica", escriben los autores en el artículo. Este nuevo enfoque, según señalan, ha permitido establecer una conexión teórica entre las mediciones y la dinámica microscópica subyacente, proporcionando una "nueva y potente metodología para estudiar las transiciones de fase cuánticas" en materiales fuertemente correlacionados.

Por último, el equipo destaca que su trabajo proporciona un "primer ejemplo notable" sobre cómo la espectroscopia de altos armónicos puede utilizarse para distinguir las distintas fases correlacionadas de la materia. También consideran que la investigación marca el camino hacia una "comprensión refinada de los procesos físicos que ocurren dentro de los superconductores de alta temperatura".

ICFO Comunicació

Artículo original

High harmonic spectroscopy of quantum phase transitions in a high-T_c superconductor

Alcalà, J. Bhattacharya, U. Biegert, J., Ciappina, M., Elu, U., Grass, T., Grochowski, P.T., Lewenstein, M., Palau, A., Sidiropoulos, T.P.H., Steinle, T., Tyulnev, I.

PNAS 119 (40) e2207766119, 2022

[DOI: 10.1073/pnas.220776611](https://doi.org/10.1073/pnas.2207766119)