



L'espectroscopia d'alts harmonics revela les transicions de fase dels superconductors d'alta temperatura

Investigadors del ICFO, el ICMAB-CSIC i el Guangdong Technion-Israel Institute of Technology han desenvolupat una nova metodologia per a investigar i mesurar les transicions de fase quantiques d'un superconductor d'alta temperatura mitjancament l'espectroscopia d'alts harmonics.

September 27, 2022

Els superconductors son aquells materials capacos de conduir l'electricitat sense cap resistencia. Aquest fenomen es pot observar en materials refredats per sota de l'anomenada temperatura de transicio dels superconductors, sovint a temperatures molt baixes (uns pocs graus per sobre del 0 absolut). Entre aquests tipus materials es troben els anomenats superconductors d'alta temperatura que es comporten com a superconductors a temperatures superiors a 77K (el punt d'ebullicio del nitrogen liquid). Aquests materials s'estan mostrand com a essencials en el desenvolupament de nous dispositius electronics i

de processament de la informació, també en el d'ordinadors quàntics òptics i fins i tot per a millorar l'eficiència de les línies de distribució elèctrica.

No obstant això, s'ha vist que la superconductivitat a alta temperatura està estretament lligada al control de la seva dinàmica microscòpica. Fins ara, la detecció de les diferents fases quàntiques en aquests materials ha estat tot un repte. El coneixement dels processos físics d'aquests estats dinàmics és incomplet a causa de l'amplia gamma d'estats quàntics que presenten. A més, els mètodes actuals utilitzats per a explorar aquestes dinàmiques escales microscòpiques no tenen la sensibilitat suficient. Per tant, es necessiten noves eines per tal de comprendre millor l'evolució dinàmica de les fases d'aquesta mena de superconductors.

Ara, en un estudi internacional, els investigadors de l'ICFO Utso Bhattacharya, Ugaitz Elu Tobias Grass, Piotr T. Grochowski, Themistoklis Sidiropoulos, Tobias Steinle i Igor Tyulnev dirigits pels professors de ICREA Jens Biegert i Maciej Lewenstein, en col·laboració amb els investigadors de l'ICMAB-CSIC, Jordi Alcala i Anna Palau, i Marcelo Ciappina, del Guangdong Technion-Israel Institute of Technology, proposen una nova metodologia basada en l'ús de l'espectroscòpia d'alts harmonics (HHS per les seves sigles en anglès) per a investigar les transicions entre les diferents fases del YBCO, un material ceràmic format per òxids de coure, iode i bari i que és un conegut superconductor d'alta temperatura. És la primera vegada que s'utilitza una metodologia de diagnòstic i detecció no lineal i no pertorbadora per a comprendre el comportament de materials fortament correlacionats. Veient els resultats experimentals obtinguts, els investigadors han anat més enllà i presenten en el treball publicat ara un nou model teòric per tal d'identificar la connexió entre els espectres òptics mesurats i les transicions entre els diferents estats quàntics del YBCO: metall estrany, pseudogap i superconductor. L'estudi s'ha publicat recentment a la revista PNAS. Els investigadors van utilitzar en el seu experiment pel·lícules molt fines (d'uns 100 nm de gruix) de YBCO col·locat sobre un micro refrigerador. Primer, van caracteritzar les propietats superconductores de les pel·lícules de YBCO per a confirmar la qualitat de les mostres. A continuació, mitjançant polsos ultracurts de laser infraroig, els autors de l'estudi van induir la generació d'alts harmonics en les mostres del material, col·locades dins d'una cambra de buit i refredades a una temperatura de 77K. Els alts harmonics són els fotons d'alta energia emesos pels electrons d'un sistema quan aquest es col·loca en un camp laser intens. Aquests fotons emesos tenen una freqüència molt superior a la del camp laser conductor. Els investigadors van registrar la radiació reflectida amb un espectrograf per a poder estudiar l'espectre harmònic, que es pot distingir de les petjades d'aquesta resposta òptica no lineal. D'aquesta manera van veure que l'espectre està relacionat amb les transicions de fase. En veure aquests resultats experimentals en el laboratori i tenir

en compte que no disposaven d'una teoria que pogues explicar allo que s'observava e la practica, els investigadors van desenvolupar un nou model aproximat de Hubbard de ca p fort per tal de comprendre la relacio existent entre els alts harmonics mesurats i la form cio de l'anomenat $i\frac{1}{2}$ parell de Cooper $i\frac{1}{2}$, es a dir, els electrons acoblats r sponsables de la fase superco ductora del material. Els espectres d'alts harmonics calculats amb el nou model teoric van c incidir amb les dades experimentals registrades al laboratori. "El model reproduex fidelment la forma funcional de les dades mesurades en tot el rang de temperatures i per a dive sos ordres de magnitud d'amplitud harmonica", escriuen els autors en l'article. Aquest nou enfocament, segons assenyalen, ha permet establir una connexio teorica entre les esures obtingudes i la dinamica microscopica subjacent, proporcionant una "nova i p tent metodologia per a estudiar les transicions de fase quantiques" en materials fo tament correlacionats. Finalment, l'equip destaca que el seu treball proporciona un "pr mer exemple notable $i\frac{1}{2}$ sobre com l'espectroscopia d'alts harmonics pot utilitzar-se per a dist ngir les diferents fases correlacionades de la materia. Tambe consideren que la recerc marca el cami cap a una "comprensio refinada dels processos fisics que ocorren dins de s superconductors d'alta temperatura".