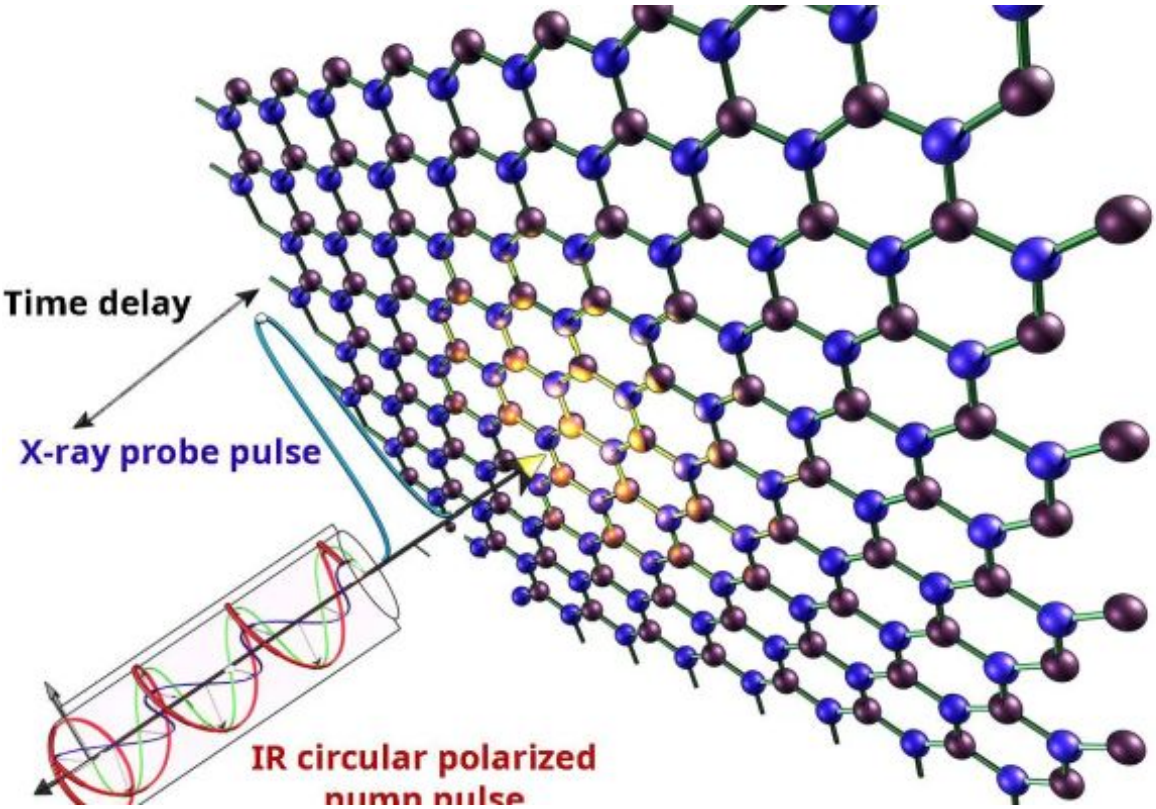
ICFO



Rastrejant transicions de fase topologica amb tecniques d?absorcio de raigs X

Un equip internacional d'investigadors presenta a **Reports on Progress in Physics Original Research** un experiment numeric qu demostra la possibilitat de capturar transicions de fase topologic a traves d'un esquema de espectroscopia d'absorcio de raigs X. E superar limitacions anteriors en la resolucio d'energia, el metod permetra avancar les investigacions en sistemes rellevants per aplicacions en optoelectronica.

October 28, 2024

Els atoms dels solids, liquids i gasos exhibeixen disposicions i comportaments molt diferents. En els solids, els atoms estan empaquetats de manera compacta en un patro regular; en els liquids, els atoms estan a prop els uns dels altres, pero disposats de manera aleatoria i amb certa llibertat de moviment; i en els gasos, els atoms estan mes separats i poden moure's lliurement. Aquestes caracteristiques defineixen les fases convencionals de la materia.

Quan un s'endinsa en el mon quantic, emergeixen altres fases de la materia que no tenen res a veure amb la distribucio o mobilitat atomica. Aquestes son les **fases topologiques**. En aquest ambit, algunes propietats de les particules dins d'un material (com atoms o electrons) poden estar connectades a traves d'un fenomen conegut com entrellacament de llarg abast. Quan un parell de particules esta entrellacat, en canviar o mesurar-ne una, l'altra es veu afectada de manera immediata, independentment de la distancia entre elles. Aquestes particules poden estar entrellacades en un patro complex, que s'esten per tot el sistema. Diferents ?patrons d'entrellacament' dels electrons del material o altres particules quantiques defineixen diferents fases topologiques. Aixi, en alterar la manera en que les particules estan entrellacades, en lloc de la seva disposicio espacial, es produeix una transicio de fase.
Els estats topologics de la materia ofereixen la possibilitat de crear materials exotics, que poden ser, per exemple, aillants en el seu interior pero amb estats conductors a la superficie. En els darrers anys, s'ha produit un gran progres en el desenvolupament d'aquests materials moderns. A tall d'exemple, alguns aillants topologicament no trivials es van poder induir mitjancant l'us de lasers ultracurts i intensos. Tanmateix, aquests aillants topologics induits per la llum nomes existeixen mentre el pols del laser esta actiu, es a dir, durant diversos femtosegons (10?'? segons). Aixo imposa un requisit important a l'hora d'estudiar-los caracteritzar-los, ja que cal una sonda ultrarapida en l'escala de femtosegons per pode capturar les fases topologiques ultrarapides

Malgrat el progres significatiu en aquesta direccio, encara queden alguns reptes pe resoldre. Per exemple, l'espectroscopia de fotoemissio amb resolucio angular (ARPES) h demostrat ser efectiva per investigar aquests sistemes topologics, pero presenta u inconvenient: com mes curta es la durada del pols de sondeig (i, en conseqüencia, m s proper es troba de capturar la naturalesa ultrarapida del material), menor es la resolucio e l'energia fotoelectronic

. Recentment, un equip liderat per la Universitat Autonoma de Madrid, amb la col·laboraci d'investigadors de l'ICFO, el **Dr. Emilio Pisanty**, el **Dr. Alexandre Dauphin** i el **professor ICREA Maciej Lewenstein**; l'Institut de Fisica de Metalls M. N. Mikheev de la Branca dels Urals de l'Academia de Ciencies de Russia; el King's College London; la Universitat de Salamanca; la Max Planck POSTECH/KOREA Research Initiative i el Centre de Fisica de la Materia Condensada (IFIMAC), va presentar un esquema complementari a l'ARPES a Reports on Progress in Physics Original Research. En un experiment numeric recolzat per un model teoric, l'equip va demostrar que **l'espectroscopia d'absorcio de rajos X pot capturar directament les transicions de fase topologica**.

El metode utilitza polsos de sondeig ultracurts que no pateixen una reduccio en la resolucio de l'energia. Aquest enfocament permet avancar en l'estudi de sistemes rellevants per a aplicacions en optoelectronica, la investigacio dels quals havia estat, fins ara, limitada per la compromesa relacio entre la durada del pols i la resolucio energetica.

Les transicions de fase topologica deixen una empremta en l'absorcio

Els investigadors van simular l'accio de dos polsos ultracurts, separats per un retard temporal, sobre una monocapa de nitrur de bor hexagonal (hBN). Un d'ells era un pols de rajos X polaritzat linealment i l'altre un pols infraroig intens polaritzat circularment. En canviar la polaritzacio circular d'aquest ultim d'esquerra a dreta, tambe canviava l'absorcio de la mostra. Va ser aquesta dependencia la que els va permetre inferir la fase topologica del material.

i¿½El nostre esquema ultrarapid era molt sensible a les transicions de fase topologica. Qu n la fase topologica canviava, una senyal quedava impresa en l'espectre d'absorcioi¿½, exp ica el professor ICREA Maciej Lewenstein. i¿½Per tant, aquest metode podria utilitzar- e per estudiar fases topologiques i identificar transicions de fase topologica en alguns mate ials. Ara necessitem un disseny experimental per poder demostrar-ho en un escenari re

Referencia:

Juan F P Mosquera et al 2024 Rep. Prog. Phys. **87** 11790

DOI: 10.1088/1361-6633/ad889

Agraiments:

J.F.P.M, G.C., M.M., and A.P. acknowledge Comunidad de Madrid through TALENTO grant refs. 2017-T1/IND-5432 and 2021-5A/IND-20959, and the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities & the State Research Agency through grants refs. PID2021-126560NB-I00 and CNS2022-135803 (MCIU/AEI/FEDER, UE), and the i¿½Maria e Maeztui¿½ Programme for Units of Excellence in R&D (CEX2023-001316-M), and FASL GHT network (RED2022-134391-T), and computer resources and assistance provided by Centr de Computacion Cientifica de la Universidad Autonoma de Madrid (FI-2021-1-0032), Institut de Biocomputacion y Fisica de Sistemas Complejos de la Universidad de Zara oza (FI-2020-3-0008), and Barcelona Supercomputing Center (FI-2020-1-0005, FI2021-2-0 23, FI-2021-3-0019). This publication is based upon work from COST Action NEXT, CA2 148 supported by COST (European Cooperation in Science and Technology). M. Malakhov's ork also carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Educatio of the Russian Federation (theme i¿½Quantumi¿½ No. 122021000038-7). E.P. ackn wledges Royal Society funding under URF\R1\211390, RF\ERE\210255 and RF\ERE\231081. CFO and ex-ICFO co-authors acknowledge Europea Research Council AdG NOQIA; CIN/AEI (PGC2018-0910.13039/501100011033, CEX2019-000910-S/10.13039/5011000110 3, Plan National FIDEUA PID2019-106901GB-I00, Plan National STAMEENA PID2022-139099 B, I00, project funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by the i¿½Euro ean Union NextGenerationEU/PRTRi¿½ (PRTRC17.I1), FPI); QUANTERA MAQS PCI201 -111828-2); QUANTERA DYNAMITE PCI2022-132919, QuantERA II Programme co-funded

by European Union's Horizon 2020 program under Grant Agreement No 101017733); Ministry for Digital Transformation and of Civil Service of the Spanish Government through the UANTUM ENIA project call - Quantum Spain project, and by the European Union through t e Recovery, Transformation and Resilience Plan - NextGenerationEU within the framework of the Digital Spain 2026 Agenda; Fundacio Cellex; Fundacio Mir-Puig; Generalitat de Catalun a (European Social Fund FEDER and CERCA program, AGAUR Grant No. 2021 SGR 01452 QuantumCAT U16-011424, co-funded by ERDF Operational Program of Catalonia 2014-2020 ; Barcelona Supercomputing Center MareNostrum (FI-2023-3-0024); Funded by the Eur pean Union. (HORIZON-CL4-2022-QUANTUM-02-SGA PASQuanS2.1, 101113690, EU orizon 2020 FETOPEN OPTOlogic, Grant No 899794), EU Horizon Europe Program (This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research an innovation program under grant agreement No 101080086 NeQSTGrant Agreeme t 101080086 -NeQST); ICFO Internal i¿½QuantumGaudii¿½ project; European Unio 's Horizon 2020 program under the Marie Sklodowska-Curie grant agreement No 847648 i¿½La Caixai¿½ Junior Leaders fellowships, La Caixai¿½ Foundation (ID 100010434) CF/BQ/PR23/11980043. A.C. thanks to the Sistema Nacional de Investigacion (SNI) de Panama for financial su