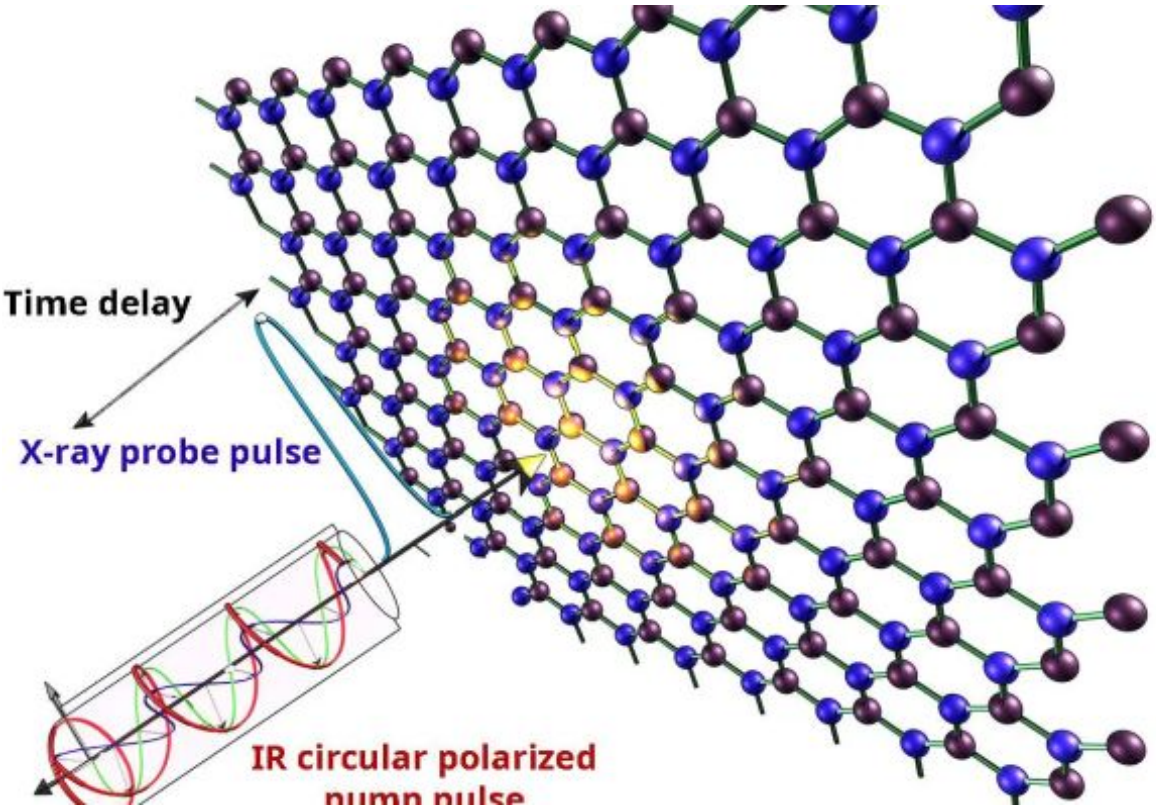


Rastreando transiciones de fase topologica con tecnicas de absorcion de rayos X

Un equipo internacional de investigadores presenta en **Reports on Progress in Physics Original Research** un experimento numeric que demuestra la posibilidad de capturar transiciones de fas topologica a traves de un esquema de espectroscopia d absorcion de rayos X. Al superar limitaciones anteriores en l resolucion de energia, el metodo permitira avanzar la investigaciones en sistemas relevantes para aplicaciones e optoelectronica.

October 28, 2024

Los atomos de los solidos, liquidos y gases exhiben disposiciones y comportamientos muy diferentes. En los solidos, los atomos estan empaquetados de forma compacta en un patron regular; en los liquidos, los atomos estan cerca entre si, pero dispuestos de forma aleatoria y con cierta libertad de movimiento; y en los gases, los atomos estan mas separados y pueden

moverse libremente. Estas caracteristicas definen las fases convencionales de la materia. Cuando se entra en el mundo cuantico, surgen otras fases de la materia que nada tienen que ver con la distribucion o movilidad atomica. Estas son las **fases topologicas**. En este ambito, algunas propiedades de las particulas dentro de un material (como atomos o electrones) pueden estar conectadas a traves de un fenomeno conocido como entrelazamiento de largo alcance. Cuando un par de particulas esta entrelazado, al cambiar o medir una de ellas, la otra se ve afectada de inmediato, independientemente de la distancia entre ambas. Estas particulas pueden estar entrelazadas en un patron complejo, que se extiende por todo el sistema. Diferentes ?patrones de entrelazamiento' de los electrones del material u otras particulas cuanticas definen diferentes fases topologicas. Asi, al alterar la forma en que las particulas estan entrelazadas, en lugar de su disposicion espacial, se produce una transicion de fase.

Los estados topologicos de la materia ofrecen la posibilidad de crear materiales exoticos, que pueden ser, por ejemplo, aislantes en el interior, pero con estados conductores en la superficie. En los ultimos anos, ha habido un enorme progreso en el desarrollo de estos materiales modernos. A modo de ejemplo, algunos aislantes topologicamente no triviales pudieron ser inducidos mediante el uso de laseres ultracortos e intensos. Sin embargo, estos aislantes topologicos inducidos por la luz solo existen mientras el pulso del laser esta activo, es decir, durante varios femtosegundos (10?¹? segundos). Esto impone un requisit importante a la hora de estudiar y caracterizarlos, ya que hace falta una sonda ultrarrapida e la escala de femtosegundos para poder capturar las fases topologicas ultrarrapidas

A pesar del progreso significativo en esta direccion, aun quedan algunos desafios po resolver. Por ejemplo, la espectroscopia de fotoemision con resolucion angular (ARPES) h demostrado ser efectiva para investigar estos sistemas topologicos, pero presenta u inconveniente: cuanto mas corta es la duracion del pulso de sondeo (y, en consecuencia mas cerca se esta de capturar la naturaleza ultrarrapida del material), menor es la resolucio de energia fotoelectronica

Recientemente, un equipo liderado por laUniversidad Autonoma de Madrid, con la colaboracion de investigadores del ICFO, el **Dr. Emilio Pisanty**, el **Dr. Alexandre Dauphin** y el **profesor ICREA Maciej Lewenstein**; el Instituto de Fisica de Metales M. N. Mikheev de la Rama Ural de la Academia de Ciencias de Rusia; el King's College London; la Universidad de Salamanca; la Max Planck POSTECH/KOREA Research Initiative y el Centro de Fisica de la Materia Condensada (IFIMAC), presento un esquema complementario a la ARPES en Reports on Progress in Physics Original Research. En un experimento numerico respaldado por un modelo teorico, el equipo demostro que **la espectroscopia de absorcion de rayos X puede capturar directamente las transiciones de fase topologica**.

El metodo emplea pulsos de sondeo ultracortos que no sufren de una reduccion en la resolucion de energia. Este enfoque permite avanzar en el estudio de sistemas relevantes para aplicaciones en optoelectronica, cuya investigacion habia estado, hasta ahora, frenada

por la comprometida relacion entre la duracion del pulso y la resolucion energetica.

Las transiciones de fase topologica dejan una huella en la absorcion

Los investigadores simularon la accion de dos pulsos ultracortos, separados por un retardo temporal, sobre una monocapa de nitruro de boro hexagonal (hBN). Uno de ellos era un pulso de rayos X polarizado linealmente y el otro un pulso infrarrojo intenso polarizado circularmente. Al cambiar la polarizacion circular de este ultimo de izquierda a derecha, tambien cambiaba la absorcion de la muestra. Fue esta dependencia lo que les permitio inferir la fase topologica del material.

i¿½Nuestro esquema ultrarrapido era muy sensible a las transiciones de fase topologic
. Cuando la fase topologica cambiaba, una senal quedaba impresa en el espectro
e absorcioni¿½, explica el profesor ICREA Maciej Lewenstein. i¿½Por lo tanto, este
etodo podria utilizarse para estudiar fases topologicas e identificar transiciones de fase topo
ogica en algunos materiales. Ahora necesitamos un diseno experimental para poder demostra
lo en un escenario re

Referencia:

Juan F P Mosquera et al 2024 Rep. Prog. Phys. **87** 11790
DOI: 10.1088/1361-6633/ad889

Agradecimientos:

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