



## Una nova tecnica d'imatge de raigs X per a estudiar els canvis de fase dels materials quantics

Un equip internacional d'investigadors ha demostrat per primera vegada la utilitat d'un nou metode de raigs X ultrarapid per a obtenir imatges de les transicions de fase. Aquest nou metode, descrit en un article publicat a la revista *Nature Physics*, permet l'observacio directa de les dinamiques dels materials quantics a escala nanometrica.

December 22, 2022

---

L'us de la llum per a produir canvis de fase en els materials quantics s'esta convertint en una nova forma per desenvolupar noves propietats dels materials, com la superconductivitat o la generacio de defectes topologics a la nanoescala. Tot i això, visualitzar el creixement i desenvolupament d'una nova fase en un solid no es una tasca senzilla, degut a l'ampli ventall d'escales espacials i temporals que intervenen en el proces.

Tot i que en les dues ultimes decades els científics han explicat les transicions de fase

induides per la llum (fotoinducció) invocant la dinàmica que es produeix a la nanoescala, encara no s'havien obtingut imatges espacials reals i, per tant, ningú les havia pogut veure. En un nou treball publicat a la revista *Nature Physics*, els investigadors de l'ICFO Allan S. Johnson i Daniel Perez-Salinas, dirigits per l'antic professor de l'ICFO Simon Wall, en col·laboració amb investigadors de la Universitat d'Aarhus, la Universitat de Sogang, a Universitat de Vanderbilt, l'Institut Max-Born, el Diamond Light Source, el Síncrotron ALBA, a Universitat d'Utrecht i el Laboratori de l'Accelerador de Pohang han descrit el desenvolupament d'un nou mètode d'obtenció d'imatges que ha permès captar la transició de fase induïda per la llum (fotoinducció) en l'òxid de vanadi ( $\text{VO}_2$ ) amb una alta resolució espacial i temporal.

La nova tècnica aplicada pels investigadors es basa en l'obtenció d'imatges hiperespectrals de raigs X coherents a partir d'un laser d'electrons lliures (XFEL per les seves sigles en anglès). D'aquesta manera, han pogut visualitzar i comprendre millor a escala nanomètrica la transició de la fase d'aïllant a metàl·lica en el  $\text{VO}_2$ .

El cristall de  $\text{VO}_2$  s'ha utilitzat sovint per a estudiar els canvis de fase fotoinduits. De fet, va ser el primer material del qual es va analitzar la transició a sòlid mitjançant difracció de raigs X amb una bona resolució temporal. De la mateixa manera, les propietats electròniques d'aquest material es van estudiar utilitzant per primera vegada tècniques d'absorció ultraràpida de raigs X. A temperatura ambient, el  $\text{VO}_2$  es troba en la seva fase aïllant. No obstant això, si s'aplica llum sobre el material, és possible trencar els dímers dels parells d'ions de vanadi i impulsar la transició de fase, fent-lo passar de la fase aïllant a la metàl·lica.

Els autors de l'estudi van preparar per al seu experiment mostres molt primes de  $\text{VO}_2$  emmarcades per una lamina d'or per definir-ne bé el camp de visió. A continuació, van traslladar-se al Laser d'Electrons Lliures de Raigs X del Laboratori de l'Accelerador de Pohang on van induir la transició de fase aplicant un pols de laser òptic sobre les mostres i analitzant-les després amb un pols de laser de raigs X ultraràpid. Una càmera CCD va encarregar-se de captar els raigs X dispersats. Els patrons de dispersió registrats es van convertir en imatges mitjançant dues tècniques diferents: a través de l'holografia per a transformada de Fourier (FTH per les seves sigles en anglès) i a través de la imatge per difracció coherent (CDI per les seves sigles en anglès). D'aquesta manera, es van generar imatges a diferents intervals de temps i diferents longituds d'ona dels raigs X amb les quals es va poder crear una "pel·lícula" del procés amb una resolució temporal de 50 femtosegons, una resolució espacial de 50 nanòmetres i amb informació hiperespectrals completa.

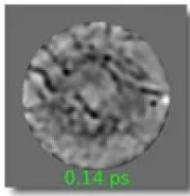
### **L'inesperat paper de la pressió**

Gràcies al nou mètode, els investigadors van poder comprendre millor la dinàmica de la transició de fase del  $\text{VO}_2$  i van trobar que la pressió exerceix en les transicions de fase fotoinduides un paper molt més important del que es pensava.

"Vam veure que les transicions de fase no són tan exòtiques com es creia. En lloc d'una

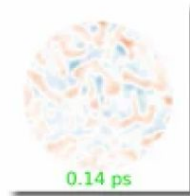
veritable fase de no-equilibri, el que vam observar va ser que ens havíem confos pel fet que la transició ultrarapida provoca grans pressions internes en la mostra, unes pressions milions de vegades superiors a l'atmosfèrica. Aquesta pressió canvia les propietats del material, que triga a relaxar-sei, la qual cosa fa que sembli que existeix una fase transitoria", explica Allan Johnson, investigador postdoctoral del ICFO. "Utilitzant el nostre mètode per a l'obtenció d'imatges, vam veure que, com a mínim en aquest cas, no hi havia cap relació entre la dinàmica de picosegons que sí que vam observar i qualsevol canvi a la nanoescala o fase exòtica. Així que creiem que s'hauran de revisar algunes de les conclusions previstes". Per a identificar el paper que exerceix la pressió en el procés, va ser crucial utilitzar la imatge hiperespectral. "En combinar la imatge i l'espectroscòpia en una gran imatge, podem recuperar molta més informació que ens permet veure amb més detall les característiques i determinar-ne el seu origen", explica Johnson. "Per això va ser essencial observar cada part del cristall de la mostra i distingir si es tractava d'una fase normal o d'una fase exòtica fora d'equilibri i amb aquesta informació vam poder determinar que durant les transicions de fase totes les regions del nostre cristall eren iguals, excepte per la pressió". Un dels principals reptes als quals es van enfrontar els investigadors durant l'experiment va ser aconseguir que la mostra retornés a la seva fase inicial després de ser il·luminada pel laser. Per a garantir-ho, van realitzar diverses proves preliminars en diferents sincrotrons en els quals van il·luminar diferents mostres de forma repetida amb el laser per a comprovar la seva capacitat de recuperació. El segon repte residia en tenir accés a un laser d'electrons lliures de raigs X (XFEL), una gran instal·lació de recerca molt demandada i escassa, ja que hi ha pocs equips d'aquest tipus al món. "Vam haver de passar dues setmanes en quarantena a Corea del Sud a causa de les restriccions derivades de la COVID-19 abans d'aconseguir la nostra única finestra d'oportunitat de només cinc dies per a fer l'experiment. Per tant, van ser uns dies molt intensos", recorda Johnson. Encara que els investigadors descriuen el treball com una recerca de tipus bàsic, les aplicacions potencials d'aquesta tècnica poden ser diverses, ja que, per exemple, es podria observar els polarons que es mouen a l'interior dels materials catalítics, intentar obtenir imatges de la pròpia superconductivitat o fins i tot ajudar-nos a entendre les noves nanotecnologies mitjançant la visualització i obtenció d'imatges a l'interior dels dispositius", conclou Johnson.

Images



200 nm

Differences



200 nm

[Enllac a video](#)