

On es l?"accio" en l?espectroscopia 2D detectada per accio?

Un nou article de perspectiva publicat a The Journal of Chemical Physics i liderat per investigadors de l'ICFO exposa la teoria, els metodes i els reptes pendents de les espectroscopies ultrarapides, que exploren que fa realment un material amb la llum: generar corrent, emetre llum o impulsar reaccions quimiques.

November 23, 2026

Com es desplaca l'energia a l'interior dels materials dissenyats per captar llum, com ara els polimers fotovoltaics, les perovskites, els complexos fotosintetics o els semiconductors de gruix atomic? En les dues darreres decades, l'espectroscopia electronica bidimensional (2DES, per les sigles en angles) s'ha convertit en la tecnica de referencia per respondre a aquesta pregunta.

La 2DES relaciona el color de la llum que absorbeix un material amb el color amb que aquest

respon, entre femtosegons i picosegons mes tard. D'aquesta manera, els cientifics poden descobrir quins estats electronics estan acoblats i com flueix l'energia entre ells.

Pero els materials energetics no es dissenyen nomes per absorbir llum, sino per fer-ne alguna cosa: generar corrent, emetre llum o impulsar reaccions quimiques. La 2DES convencional detecta el camp optic que irradia la mostra, pero aixo no permet saber si una determinada via energetica contribueix realment a una funcio concreta.

La **2DES detectada per accio (A-2DES)** segueix un altre cami: mesura directament el producte final, ja sigui el fotocorrent, la fluorescencia, els fotoelectrons o ions emesos, o fins i tot forces minuscules captades per un microscopi de forca atomica.

Aixo obre noves possibilitats. Ates que el senyal prove de la mateixa excitacio i no d'un feix de llum emes en una direccio concreta, l'A-2DES es pot aplicar a una cel·la solar e funcionament, a una sola molecula o a traves d'un microscopi. Aixi, la tecnica perme cartografiar dinamiques ultrarapides amb una resolucio espacial que arriba a l'escal nanometrica. A mes, detectar un producte o un altre determina, al seu torn, quins processo s'observen: en una cel·la solar, per exemple, l'experiment dona informacio sobre l s excitacions que acaben convertint-se en corren . La tecnica tambe te la seva contrapartida. Mesurar poblacions excitades en lloc de cam s optics canvia les regles del joc. L'experiment requereix una seqüencia de quatre polsos las r, amb una sincronitzacio i una fase que cal controlar amb precisio. El senyal mesurat (er exemple, el fotocorrent o la fluorescencia) conte, a mes, vies quantiques addicionals que es poden anul·lar parcialment entre si. I, en els sistemes extensos, sorgeix una a tra complicacio: les excitacions generades de manera independent en diferents parts d la mostra es poden trobar i interaccionar un cop l'excitacio ja s'ha produit. Aixo produei un fons de «barreja incoherent» que pot dominar l'espectre i imitar una transferencia d'e ergia real quan no o es. Els investigadors de l'ICFO, el **Dr. Luca Bolzonello**, el **Dr. Edoardo Amarotti**, el **Dr. Joseph Wragg**, i el **Prof. ICREA Niek van Hulst**, acaben de publicar a The Journal of Chemical Physics un article de perspectiva sobre l'A-2DES que reuneix 18 investigadors d'Europa i els Estats Units especialitzats en teoria, instrumentacio i aplicacions.

L'article **construeix un marc teoric comu**, que parteix de sistemes model senzills i arriba fins a grans agregats moleculars, i quantifica en quines condicions s'imposa la barreja incoherent.

A continuacio, **repassa les estrategies desenvolupades per aillar el senyal rellevant**, des d'enginyoses ordenacions dels polsos i esquemes de polaritzacio fins a la deteccio amb finestra temporal. Tambe compara diferents modalitats de deteccio i estrategies de mostreig mes eficients que redueixen el temps de mesura.

Finalment, **analitza aplicacions** en cel·les solars organiques i de perovskita, complexo captadors de llum, monocapes semiconductores, dispositius de nanotubs de carboni molecules individuals

El missatge central es que, en l'espectroscopia d'accio, l'eleccio de l'observable no es u

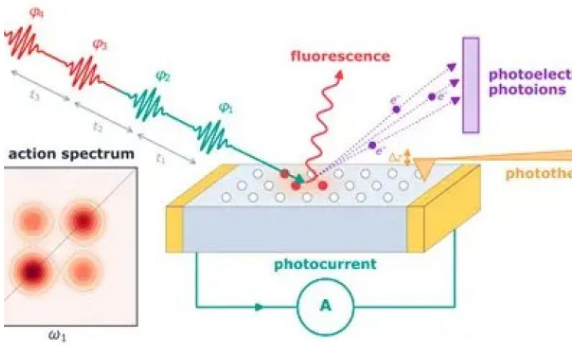
detall tecnic, sino part de la fisica: el que es detecta determina el que es veu i¿½La deteccio per accio planteja una pregunta diferent de la de l'espectroscopia 2D convencional: no nomes com es mou l'energia, sino on acabai¿½, explica el Dr. Luca Bolzonello, primer autor de l'article. i¿½Tots dos enfocaments son complementaris i, junts, ofereixen una imatge molt mes completa de com funcionen realment els ma erials energet

Referencia:

Luca Bolzonello, et. al.; Action-detected two-dimensional electronic spectroscopy: Theory, methods, and future directions. J. Chem. Phys. 28 October 2026; 165 (16): 164202. https://doi.org/10.1063/5.0351936

Agraiments:

N.F.v.H. and L.B. acknowledge support through the MCIN/AEI Project Nos. PID2021-123814OB-I00, TED2021-129241BI00, and PID2024-156564OB-I00; Severo Ochoa CEX2024-001490-S, QuantERA (Project Nos. 731473 and 101017733: ExTRaQT); and the Generalitat de Catalunya through the CERCA program. N.F.v.H. acknowledges support from ERC Advanced Grant No. 101054846-FastTrack. This work was part of the ICFO Clean Planet Program, **https://cleanplanet.icfo.eu/**. E.A. and T.P. acknowledge financial support from the Swedish Energy Agency under Grant No. 50709-1, the Olle Engkvist foundation under Grant No. 235-0422, the Swedish Foundation of Strategic Research under Grant No. IS24-0005, the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under the Marie Sk?odowska-Curie Grant Agreement Nos. 945378 and 871124, Laserlab-Europe, and the Royal Physiographic Society of Lund. J.P.O. gratefully acknowledges the U.S. Department of Energy (Grant Nos. DE-SC0016384 and DE-SC0010575). P.M. acknowledges funding from Charles University (Grant No. PRIMUS/24/SCI/007) and the Czech Science Foundation (GA?R, Grant No. 26-23570S). D.Z. and A.J. acknowledge the Swedish Research Council. E.C. acknowledges the support from the i¿½NV-PC-2DESi¿½ Project - Accordo Italia-Isr ele (MAECI), CUP No. C93C24006740001. M.B. acknowledges financial support from the Programme Johannes Amos Comenius under the MSCA Fellowships CZ-UK4 pro ect i¿½MEET-UPi¿½ (Registration No. CZ.02.01.01/00/22_010/00013392) and Charles Un versity through the JUNIOR Fund. J.L. acknowledges the Human Frontier Science Program (G ant No. LT0056/2024-C). Z.F. was supported by the National Science Foundation Graduate esearch Fellowship under Grant No. DGE-2137424. M.Z. was supported by the NSF under Gr nt Nos. CHE-2314378 and AFOSR FA9550-23-1-0181. T.B. acknowledges funding from the uropean Research Council (ERC) within Advanced Grant IMPACTS (Grant No. 101141366).



Esquema de l'A-2DES. Font: The Journal of Chemical Physics.