

¿Donde esta la "accion" en la espectroscopia 2D detectada por accion?

Un nuevo articulo de perspectiva publicado en The Journal of Chemical Physics y liderado por investigadores del ICFO expone la teoria, los metodos y los retos pendientes de las espectroscopias ultrarrapidas, las cuales exploran lo que un material hace realmente con la luz: generar corriente, emitir luz o impulsar reacciones quimicas.

November 23, 2026

¿Como se desplaza la energia en el interior de los materiales disenados para captar luz, com los polimeros fotovoltaicos, los perovskitas, los complejos fotosinteticos o lo semiconductores de grosor atomico? En las dos ultimas decadas, la espectroscopi electronica bidimensional (2DES, por sus siglas en ingles) se ha convertido en la tecnica d referencia para responder a esta pregunta

La 2DES relaciona el color de la luz que absorbe un material con el color con el que est

responde, entre femtosegundos y picosegundos mas tarde. De esta manera, los cientifico pueden descubrir que estados electronicos estan acoplados y como fluye la energia entr ellos

Pero los materiales energeticos no se disenan solamente para absorber luz, sino para hace algo con ella: generar corriente, emitir luz o impulsar reacciones quimicas. La 2DE convencional detecta el campo optico que irradia la muestra, pero eso no permite saber s una determinada via energetica contribuye realmente a una funcion concreta

La **2DES detectada por accion (A-2DES)** toma otro camino: mide directamente el producto final, ya sea la fotocorriente, la fluorescencia, los fotoelectrones o iones emitidos, o incluso fuerzas diminutas captadas por un microscopio de fuerza atomica.

Esto abre nuevas posibilidades. Dado que la senal procede de la propia excitacion y no de un haz de luz emitido en una direccion concreta, la A-2DES puede aplicarse a una celula solar en funcionamiento, a una sola molecula o a traves de un microscopio. De este modo, la tecnica permite cartografiar dinamicas ultrarrapidas con una resolucion espacial que llega a la escala nanometrica. Ademas, detectar un producto u otro determina a su vez que procesos se observan: en una celula solar, por ejemplo, el experimento informa sobre las excitaciones que acaban convirtiendose en corriente.

La tecnica tiene tambien su contrapartida. Medir poblaciones excitadas en lugar de campos opticos cambia las reglas del juego. El experimento requiere una secuencia de cuatro pulsos laser cuya sincronizacion y fase deben controlarse con precision. La senal medida (por ejemplo, la fotocorriente o la fluorescencia) contiene ademas vias cuanticas adicionales que pueden anularse parcialmente entre si. Y, en los sistemas extensos, surge otra complicacion: las excitaciones generadas de forma independiente en distintas partes de la muestra pueden encontrarse e interactuar tras la excitacion. Esto produce un fondo de «mezcla incoherente ? que puede dominar el espectro e imitar una transferencia de energia real cuando no lo e .

Los investigadores del ICFO, el **Dr. Luca Bolzonello**, el **Dr. Edoardo Amarotti**, el **Dr. Joseph Wragg**, y el **Prof. ICREA Niek van Hulst,** acaban de publicar en The Journal of Chemical Physics un articulo de perspectiva sobre la A-2DES que reune a 18 investigadores de Europa y Estados Unidos especializados en teoria, instrumentacion y aplicaciones.

El articulo **construye un marco teorico comun**, que parte de sistemas modelo sencillos y llega hasta grandes agregados moleculares, y cuantifica en que condiciones se impone la mezcla incoherente.

A continuacion, **repasa las estrategias desarrolladas para aislar la senal relevante**, desde ingeniosas ordenaciones de los pulsos y esquemas de polarizacion hasta la deteccion con ventana temporal. Tambien compara distintas modalidades de deteccion y estrategias de muestreo mas eficientes que reducen el tiempo de medida.

Por ultimo, **analiza aplicaciones** en celulas solares organicas y de perovskita, complejos captadores de luz, monocapas semiconductoras, dispositivos de nanotubos de carbono y moleculas individuales.

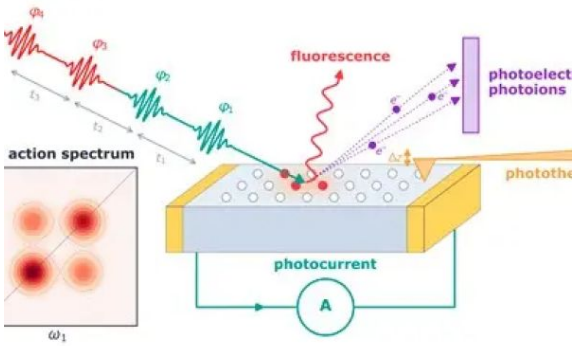
El mensaje central es que, en la espectroscopia de accion, la eleccion del observable no es un detalle tecnico, sino parte de la fisica: lo que se detecta determina lo que se ve. i¿½La deteccion por accion plantea una pregunta distinta a la de la espectroscopia D convencional: no solo como se mueve la energia, sino donde acabai¿½, explica el Dr. uca Bolzonello, primer autor del articulo. i¿½Ambos enfoques son complementarios y, j ntos, ofrecen una imagen mucho mas completa de como funcionan realmente los mate iales energetic

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

Agradecimientos:

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 del A-2DES. Fuente: The Journal of Chemical Physics.