



Les excitacions de baixa freqüència podrien aviat mapar-se amb precisió nanomètrica

Investigadors de l'ICFO han proposat una tècnica que podria, per primera vegada, detectar excitacions de baixa freqüència en materials no lineals i, a més, localitzar-les espacialment amb resolució nanomètrica. Mitjançant exemples realistes, mostre com el seu mètode podria identificar empremtes moleculars de l'infraroig llunyà a escala nanomètrica. Aquest marc teòric publicat a Nature Communications, podria implementar-se utilitzant llum visible i microscopis electrònics ja existents.

January 27, 2026

Els àtoms mai romanen completament fixos, ni tan sols dins dels materials sòlids. En lloc d'això, vibren al voltant de les seves posicions d'equilibri, fet que origina excitacions col·lectives conegudes com a fonons. Aquestes i altres excitacions fonamentals són extremadament difícils de mesurar amb una resolució espacial de nanòmetres, principalment

perque les seves freqüències son tan baixes que les tècniques òptiques convencionals no les poden resoldre. De fet, encara no existeix cap mètode capaç d'accedir a informació en el regim que va de l'infraroig llunyà fins als terahercis amb resolució nanomètrica. Ara, investigadors de l'ICFO, **Leila Prelat** i el **Dr. Eduardo Dias**, dirigits pel **Prof. ICREA F. Javier Garcia de Abajo**, han proposat en l'àmbit teòric una **nova tècnica** anomenada **catodoluminescència per mescla d'ones** (wave-mixing cathodoluminescence, **WMCL**) per **mapar excitacions de baixa freqüència** (de l'infraroig llunyà als terahercis) **en materials no lineals amb resolució nanomètrica**. L'enfocament, descrit a Nature Communications, utilitza exclusivament **llum visible**, eliminant la necessitat de fonts i detectors especialitzats de baixa freqüència.

El mètode WMCL comença dirigint un feix d'electrons cap a la mostra, cosa que dona lloc a excitacions de baixa freqüència, com ara vibracions de fonons. Aleshores, la mostra s'il·lumina amb llum laser visible. A causa de la resposta òptica no lineal del material, la llum laser i les excitacions de baixa freqüència interactuen en lloc d'evolucionar de manera independent, mesclant-se a través d'un procés anomenat mescla d'ones. Aquesta interacció produeix un desplaçament de freqüència diminut però detectable en la llum laser dispersada, que, no obstant això, es manté dins del rang visible.

Així, el petit desplaçament de freqüència hi ha codificada informació del rang del terahercis, encara que la llum detectada continui sent visible. En altres paraules, la mescla no lineal permet que excitacions de baixa freqüència invisibles s'imprimeixin en fotons visibles, explica la Leila Prelat, primera autora de l'article. El professor Javier Garcia de Abajo, investigador principal de l'estudi, afegeix: Aquest mètode obre un nou canal de mesura a baixa freqüència en un camp en què cap tècnica existent compleix amb la combinació requerida de resolució espacial i espectral. L'equip també ha demostrat que el WMCL podria utilitzar-se per identificar diferents components químics dins de capes moleculars fines dipositades sobre nanoestructures. En particular, van analitzar nanobarres de plata (nanoestructures unidimensionals a llargades) recobertes amb una capa molecular de retinal. Ara cal una realització experimental per validar aquestes prediccions i explorar aplicacions addicionals, entre elles l'extensió del WMCL més enllà de les vibracions moleculars, la qual cosa permetria sondejar altres tipus d'excitacions de baixa freqüència.

Referència:

Prelat, L., Dias, E.J.C. & Garcia de Abajo, F.J. Wave-mixing cathodoluminescence microscopy of low-frequency excitations. Nat Commun **16**, 11551 (2025).

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-67288-1>

Agraïments:



This work was supported by the European Research Council (Adv. Grant 101141220-QUEFES), the European Commission (FET-Proactive 101017720-eBEAM), the Spanish MICIU (PID2024-157421NB-I00 and Severo Ochoa CEX2024-001490-S), and the CERCA program.