



La interacció d'electrons de baixa energia amb llum revela efectes quantics

Investigadors de l'ICFO lideren un estudi teòric sobre la interacció entre electrons de baixa energia i la llum, mostrant per primera vegada l'aparició d'efectes quantics i de reculada. Els resultats podrien millorar la microscopia electrònica ultraràpida, entre d'altres aplicacions potencials.

July 05, 2024

Els electrons lliures i la llum (o, més precisament, els camps òptics), quan s'acoblen, tenen un paper fonamental en la microscopia electrònica d'última generació. La seva relació sinèrgica millora la resolució espaciotemporal i energètica dels microscopis electrònics fins al rang de picòmetre-atosegon-microelectronvolt (és a dir, a escales d'una bilionèsima de metre, un quintíll de segon i una milionesima d'electronvolt). D'aquesta manera, es poden estudiar processos dinàmics i fenòmens quantics en la matèria amb una resolució que assoleix el nivell atòmic i les escales de temps ultraràpides.

En general, els feixos d'electrons emprats en aquest tipus de dispositius tenen energies cinètiques significativament superiors a les dels camps òptics. Aleshores, la probabilitat que un sol electro interactui amb un sol [foto](#) es torna molt menor que la unitat, cosa que alhora implica un feble acoblament electro-llum. Tot i la gran quantitat d'avencos que s'han aconseguit en aquest regim, on el feix d'electrons es descriu mitjançant una carrega puntual clàssica que segueix una trajectòria rectilínia, aquesta característica comporta algunes limitacions fonamentals. En particular, el desajust entre energia i moment obstaculitza la capacitat d'aquestes tècniques per obtenir imatges d'excitacions atòmiques i accedir a la infinitat d'efectes quàntics no lineals que tan presents són a les nanoestructures.

Per tal d'accedir a aquests fenòmens cal doncs tancar la bretxa energètica reduint les energies dels electrons fins que esdevinguin comparables a les dels fotons. Aquest enfocament ha estat abordat ara pels investigadors de l'ICFO **Adamantios P. Synanidis** i el **Dr. P. Andre D. Goncalves**, dirigits pel **Prof. ICREA Javier Garcia de Abajo**, juntament amb el Prof. Dr. Claus Ropers de l'Institut Max Planck de Ciències Multidisciplinàries i la Universitat de Göttinga. En un article de *Science Advances*, mostren teòricament efectes quàntics exòtics que sorgeixen d'interaccions entre electrons de baixa energia i llum, els quals no es manifesten en el regim convencional d'alta energia.

Entre els fenòmens descrits es troba un fort acoblament electro-foto a les superfícies dels cristalls, la retrodispersió clàssicament prohibida d'electrons quan es troben amb superfícies que, en l'escenari tradicional, serien transparents a aquestes partícules, i una forta absorció i emissió selectiva de fotons.

Adamantios P. Synanidis, primer autor de l'article, aclareix: $\frac{1}{2}$ En reduir l'energia de s electrons i utilitzar una superfície de dispersió adequada, l'acoblament electro-llum pot augmentar dràsticament (fins i tot divergint fins a l'infinit en certes configuracions especials), ja que el desajust cinemàtic entre ells es minimitza o s'elimina del tot?

$\frac{1}{2}$. Els investigadors van demostrar que quan els electrons lliures de baixa energia troben un camp òptic evanescent (per exemple, d'un polaritó superficial) en una lamina transparent als electrons, aquests últims es poden retrodispersar. Aquest efecte, prohibit en el regim clàssic on l'energia dels electrons és molt més gran que la de la llum, mostra la importància dels efectes de retroces i el caràcter quàntic de la interacció. L'equip també va mostrar les conseqüències de la difracció d'electrons de baixa energia per una xarxa atòmica il·luminaada, on l'acoblament electro-llum es pot millorar selectivament ajustant correctament l'energia de l'el

Noves direccions futures per a la microscòpia electrònica, la metrologia i el control quàntic coherent

A banda de l'interès fonamental que intrínsecament comporta l'exploració de les interaccions electro-llum-materia, aquest estudi té aplicacions potencials en microscòpia electrònica ultraràpida o metrologia.

"A causa de l'excel·lent control espaciotemporal que ofereixen els feixos d'electrons esperem que sorgeixin diverses aplicacions noves i interessants en els camps d l'espectromicroscopia electronica ultrarapida i el control quantic coherent", explic Synanidis. "Un possible desenvolupament nou seria utilitzar feixos d'electrons no només com a sondes de processos físics en la matèria, sinó també com a eina per a transferir coherència a la mostra entrellaçant-la amb excitacions materials, introduint així noves tècniques amb feixos entrellaçats"

A llarg termini, aquests resultats també contribueixen a l'objectiu futur de construir microscopis electrònics més compactes, ja que els electrons de baixa energia poden simplificar en gran mesura alguns aspectes de les columnes dels microscopis electrònics actuals. A més, l'ús d'electrons de baixa energia augmenta l'acoblament entre electrons i llum sense necessitat de camps de llum intensos, cosa que permet l'espectroscòpia basada en electrons de mostres sensibles, com ara les biològiques