



Evidencia experimental mostra que la generacio d'alts harmonics produeix llum quantica

Investigadors han demostrat experimentalment que la llum emesa després d'un procés de generació d'alts harmonics en semiconductors està entrellacada i comprimida, dos senyals inequívocs de llum quàntica.

November 28, 2024

La generació d'alts harmonics (HHG, per les seves sigles en anglès) és un fenomen altament no lineal en que un sistema (per exemple, un àtom) absorbeix molts fotons d'un laser i emet fotons d'energia molt més alta, la freqüència dels quals és un harmònic (és a dir, un múltiple de la freqüència del laser incident). Històricament, la descripció teòrica d'aquest procés s'ha abordat des d'una perspectiva semi-clàssica, que tracta la matèria (els electrons dels àtoms) quànticament, però la llum incident clàssicament. Segons aquest enfocament, els fotons emesos també haurien de comportar-se de manera clàssica. Malgrat aquesta evident discrepància teòrica, la descripció era suficient per dur a terme

a majoria d'experiments, i aparentment no hi havia necessitat de canviar el marc teoric. Nom s en els darrers anys la comunitat cientifica ha comencat a explorar la possibilitat que la llum emesa realment mostri un comportament quantic, fet que la teoria semi-classica podria haver passat per alt. Diversos grups teorics, incloent el grup de [Teoria d'Optica Quantica de l'ICFO](#) (vegeu una [noticia relacionada](#)), ja han mostrat que, sota una descripcio completament quantica, el proces de HHG emet llum amb caracteristiques quantiques. Tanmateix, la validacio d'aquestes prediccions seguia eludint els esforços experimentals fins que, recentment, un equip liderat pel [Laboratoire d'Optique Appliquee](#) (CNRS), en col·laboracio amb el [Professor ICREA de l'ICFO Jens Biegert](#) i altres institucions ([Institut für Quantenoptik - Leibniz Universitat Hannover](#), [Institut Fraunhofer d'Optica Aplicada i Enginyeria de Precisió IOF](#), [Friedrich-Schiller-Universitat Jena](#)), **ha demostrat les propietats optiques quantiques de la generacio d'alts harmonics en semiconductors**. Els resultats, publicats a Physical Review X Quantum, estan **alineats amb les prediccions teoriques previes sobre l'HHG**.

En el seu experiment, la font d'HHG opera a temperatura ambient utilitzant semiconductors estandard i un laser infraroig comercial de femtosegons. **Aquesta accessibilitat posiciona l'HHG com una plataforma altament prometedora per generar estats de llum no classica**, la qual cosa, al seu torn, pot aplanar el camí cap a dispositius quantics mes robustos i escalables que no requereixin sistemes de refrigeracio complexos.

Dos senyals inequivocs de llum quantica

Els teorics ja havien predit que els fotons emesos a traves d'un proces d'HHG mostren un comportament quantic, que es manifesta en dues caracteristiques definitories: l'entrellacament i la compressio.

L'entrellacament ocorre quan dues particules s'interconnecten de tal manera que mesurar-ne una influeix instantaniament el resultat de mesurar-ne l'altra, independentment de la distancia que les separa. Aquestes fortes correlacions desafien la intuicio classica i només poden donar-se en el món quantic dels atoms, electrons i fotons.

La compressio, d'altra banda, esta relacionada amb la incertesa inevitable quan es mesuren certs parells de propietats en un sistema quantic: augmentar la precisió de la mesura d'una quantitat disminueix la precisió de la mesura de l'altra. Els estats comprimits acullen aquest compromís. Així, a costa d'augmentar el soroll d'una propietat del parell, poden reduir el soroll de la propietat complementaria.

En concordanca amb prediccions teoriques previes, l'equip va demostrar experimentalment la presencia tant d'entrellacament com de compressio en la llum emesa. Pero, com ho van aconseguir?

Evidenciant la naturalesa quantica de l'HHG

Primer, els investigadors van dirigir polsos laser infraroigs ultrarapids cap a mostres de

semiconductors -arsenur de gal·li, oxid de zinc i silici- per induir la generacio d'alt harmonics. De tots els harmonics generats, van seleccionar-ne nomes dos (el tercer i e cinque) utilitzant filtres optics. Aquests es van enviar a un sistema de deteccio capa d'analitzar multiples harmonics simultaniament, la qual cosa va ser crucial a l'hora de revela el comportament quantic de la llum

El primer senyal de la naturalesa quantica va estar relacionat amb la compressio. L'equip va registrar que la variancia en els temps d'arribada dels fotons (i, per tant, la incertesa associada a aquesta quantitat) disminuia a mesura que augmentava la intensitat del laser. Aquesta reduccio nomes podia explicar-se per la compressio, proporcionant una evidenci solida d'aquesta característica. Despres, l'equip es va centrar en l'entrellacament. Per demostrar-lo, van mesurar la correlacio entre els temps d'arribada dels fotons provinents de tercer i cinque harmonics. Els investigadors van observar consistentment fortes correlacions que son prohibitives per a una font classica, indicant de manera inequivoca la presència d'entrellacament quantic

Aquests descobriments estableixen la generacio d'alts harmonics com una plataforma ideal per produir sistemes fotonics entrellacats i comprimits a temperatura ambient. ⁱ ¹/₂ Ambdues caracteristiques son recursos clau per a moltes tecnologies quantiques, que, per exemple, depenen de l'entrellacament per transmetre informacio o de la compressio per millorar la precisió de les mesures ⁱ ¹/₂, explica el Professor ICREA Jens Biegert. ⁱ ¹/₂ Ignorar els efectes optics quantics ens estava impeding detectar caracteristiques no classiques. Pero, amb sort, ara podrem explotar tot el potencial de l'HHG per a aplicacions d'informacio, comunicacio i sensors quanti

Referencia:

David Theidel, Viviane Cotte, Rene Sondenheimer, Viktoriia Shiriaeva, Marie Froidevaux, Vladislav Severin, Adam Merdji-Larue, Philip Mosel, Sven Frohlich, Kim-Alessandro Weber, Uwe Morgner, Milutin Kovacev, Jens Biegert, and Hamed Merdji, PRX Quantum 5, 040319 (2024).

DOI: <https://doi.org/10.1103/PRXQuantum.5.040319>

Agraiments:

H.M. acknowledges financial support from the European Innovation Council contract EIC open ⁱ ¹/₂ NanoXCAN ⁱ ¹/₂ (Grant No. 101047223) and Architects of Next Generation Communication (ATTOCOM) and Quantum diffractive Nanoscale Microscopy contracts from the Agence Nationale de la Recherche (ANR). J.B. acknowledges financial support from the European Research Council (ERC) for ERC Advanced Grant ⁱ ¹/₂ TRANSFORMER ⁱ ¹/₂ (Grant No. 788218), ERC Proof of Concept Grant ⁱ ¹/₂ miniXi ⁱ ¹/₂ (Grant No. 84001), FET OPEN ⁱ ¹/₂ PETACOM ⁱ ¹/₂ (Grant No. 829153), FET OPEN ⁱ ¹/₂ OPTOLOGICI ⁱ ¹/₂ (Grant

o. 899794), and FET OPEN *i*₂TwistedNano*i*₂ (Grant No. 101046424), from Laserlab-Europe (Grant No. 871124), from the Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Networks (ITN) *i*₂smart-Xi*i*₂ (Grant No. 860553), from the Ministerio de Economía, Comercio y Empresa (MINECO) for Plan Nacional PID2020-112664 GB-I00, from the Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca (AGAUR) for 2017 SGR 1639, from MINECO for *i*₂Severo Ochoa*i*₂ (CEX2019-000910-S), from the Fundació Cellex Barcelona from the Centres de Recerca de Catalunya (CERCA) Program-Generalitat de Catalunya, and from the Alexander von Humboldt Foundation for the Friedrich Wilhelm Bessel Prize. This work was funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (German Research Foundation, DFG) under Grant No. KO 3798/11-1. M.K. acknowledges support from the DFG under Germany's Excellence Strategy within the Cluster of Excellence PhoenixD (EXC 2122, Project ID 90833453) and Quantum Frontiers (EXC-2123, Project ID 390837967).