

Image not found

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

Investigadors han demostrat experimentalment que la llum emesa despres d'un proces de generacio d'alts harmonics en semiconductors esta entrellacada i comprimida, dos senyals inequivocs de llum quantica.

November 28, 2024

La generacio d'alts harmonics (HHG, per les seves sigles en angles) es un fenomen altament no lineal en que un sistema (per exemple, un atom) absorbeix molts fotons d'un laser i emet fotons d'energia molt mes alta, la freqüencia dels quals es un harmonic (es a dir, un multiple de la freqüencia del laser incident. Historicament, la descripcio teorica d'aquest proces s'ha abordat des d'una perspectiva semi-classica, que tracta la materia (els electrons dels atom) quanticament, pero la llum incident classicament. Segons aquest enfocament, els fotons emesos també haurien de comportar-se de manera classic.

Malgrat aquesta evident discrepància teorica, la descripcio era suficient per dur a terme la majoria d'experiments, i aparentment no hi havia necessitat de canviar el marc teorica. Només en els darrers anys la comunitat científica ha començat 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 quàntics més robustos i escalables que no requereixin sistemes de refrigeració complexos.

### **Dos senyals inequívocs de llum quàntica**

Els teòrics ja havien predit que els fotons emesos a través d'un procés d'HHG mostren un comportament quàntic, que es manifesta en dues característiques definidores:

l'entrellacament i la compressió.

L'entrellacament ocorre quan dues partícules s'interconnecten de tal manera que mesurar-ne una influeix instantàniament el resultat de mesurar-ne l'altra, independentment de la distància que les separa. Aquestes fortes correlacions desafien la intuïció clàssica i només poden donar-se en el món quàntic dels àtoms, electrons i fotons.

La compressió, d'altra banda, està relacionada amb la incertesa inevitable quan es mesuren certs parells de propietats en un sistema quàntic: 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 complementària.

En concordança amb prediccions teòriques prèvies, l'equip va demostrar experimentalment la presència tant d'entrellacament com de compressió en la llum emesa. Però, com ho van aconseguir?

### **Evidenciant la naturalesa quàntica de l'HHG**

Primer, els investigadors van dirigir polsos de laser infraroig ultraràpid cap a mostres de semiconductors -arsenur de gal·li, òxid de zinc i silici- per induir la generació d'alt harmonics. De tots els harmonics generats, van seleccionar-ne només dos (el tercer i el cinquè) utilitzant filtres òptics. Aquests es van enviar a un sistema de detecció capaç d'analitzar múltiples harmonics simultàniament, la qual cosa va ser crucial a l'hora de revelar el comportament quàntic de la llum.

El primer senyal de la naturalesa quàntica va estar relacionat amb la compressió. L'equip va registrar que la variància en els temps d'arribada dels fotons (i, per tant, la incertesa associada a aquesta quantitat) disminuïa a mesura que augmentava la intensitat del laser. Aquesta reducció només podia explicar-se per la compressió, proporcionant una evidència sòlida d'aquesta característica. Després, l'equip es va centrar en l'entrellacament. Per demostrar-lo, van mesurar la correlació entre els temps d'arribada dels fotons provinents del tercer i cinquè harmonics. Els investigadors van observar consistentment fortes correlacions que són prohibitives per a una font clàssica, indicant de manera inequívoca la presència d'entrellacament quàntic.

**Aquests descobriments estableixen la generació d'alt harmonics com una plataforma ideal per produir sistemes fònics entrellacats i comprimits a temperatura ambient.** <sup>1/2</sup>Ambdues característiques són recursos clau per a moltes tecnologies quàntiques, que, per exemple

, depenen de l'entrellacament per transmetre informació o de la compressió per millorar a precisió de les mesures i, explica el Professor ICREA Jens Biegert. Ignorar els efectes òptics quàntics ens estava implicant detectar característiques no clàssiques. Però, amb sort, ara podem explotar tot el potencial de l'HHG per a aplicacions d'informació, comunicació i sensors quàntics

**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 NanoXCANI (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 TRANSFORMER (Grant No. 788218), ERC Proof of Concept Grant miniXi (Grant No. 84001), FET OPEN PETACOMI (Grant No. 829153), FET OPEN OPTOLOGICI (Grant No. 899794), and FET OPEN TwistedNanoi (Grant No. 101046424), from Laserlab-Europe (Grant No. 871124), from the Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Networks (IN) smart-Xi (Grant No. 860553), from the Ministerio de Economía, Comercio y Empresa (MINECO) for Plan Nacional PID2020-112664 GB-I00, from the Agencia de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca (AGAUR) for 2017 SGR 1639, from MINECO for Severo Ochoai (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).