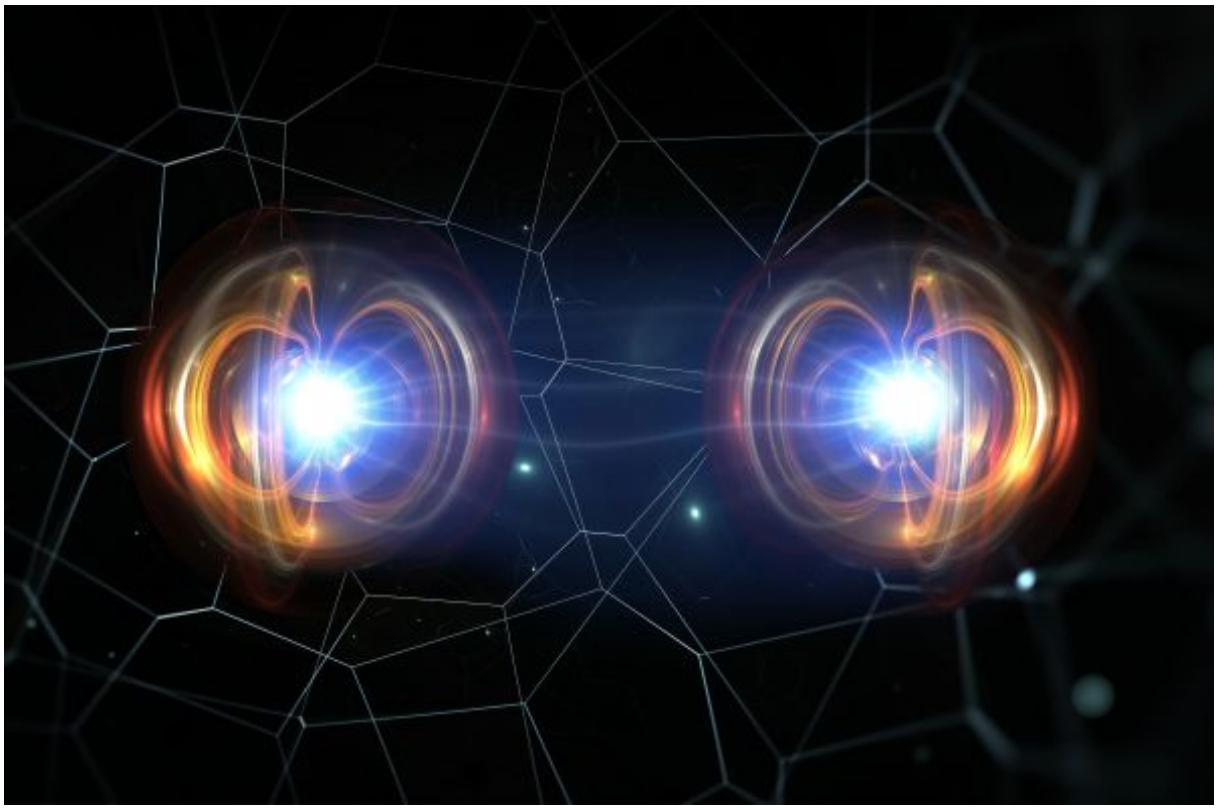


# Evidencia experimental mostra que la generacio d?alts harmonics produeix llum quantica

## 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' a 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 foto s emesos tambe haurien de comportar-se de manera classic . Malgrat aquesta evident discrepancia teorica, la descripcio 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 ll m emesa realment mostri un comportament quantic, fet que la teoria semi-classica podr a 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 esforcos 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 fü Quantenoptik - Leibniz Universitat Hannover, Institut Fraunhofer d'Optica Aplicada i Enginyeria de Precisio 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 cami 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 nomes poden donar-se en el mon 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 precisio de la mesura d'una quantitat disminueix la precisio de la mesura de l'altra. Els estats comprimits acullen aquest compromis. Aixi, 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 v registrar que la variancia en els temps d'arribada dels fotons (i, per tant, la incertes 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 caracteristica. Despres, l'equip es va centrar en l'entrellacament. Pe 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 correlacion que son prohibitives per a una font classica, indicant de manera inequivoca la presenci 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¿½Ambdu s caracteristiques son recursos clau per a moltes tecnologies quantiques, que, per exempl , depenen de l'entrellacament per transmetre informacio o de la compressio per millorar a precisio de les mesuresi¿½, explica el Professor ICREA Jens Biegert. i¿½Ignorar els e ectes optics quantics ens estava impedint detectar caracteristiques no classiques. Pero, amb sort, ara podrem explotar tot el potencial de l'HHG per a aplicacions d'informacio, comunic cio 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¿½NanoXCANi¿½ (Grant No. 101047223) and Architects of Next Genera ion Communication (ATTOCOM) and Quantum diffractive Nanoscale Microscopy contracts rom the Agence Nationale de la Recherche (ANR). J.B. acknowledges financial support from the European Research Council (ERC) for ERC Advanced Grant i¿½TRANSFORMERi¿½ (G ant No. 788218), ERC Proof of Concept Grant i¿½miniXi¿½ (Grant No. 84001 ), FET OPEN i¿½PETAComi¿½ (Grant No. 829153), FET OPEN i¿½OPTOlogici¿½ (Grant

o. 899794), and FET OPEN i¿½TwistedNanoi¿½ (Grant No. 101046424), from Laserlab-Eu
ope (Grant No. 871124), from the Marie Sk?odowska-Curie Innovative Training Networks (I
N) i¿½smart-Xi¿½ (Grant No. 860553), from the Ministerio de Economia, Comercio
y Empresa (MINECO) for Plan Nacional PID2020-112664 GB-I00, from the Agencia de Gesti
d'Ajuts Universitaris i de Recerca (AGAUR) for 2017 SGR 1639, from M
NECO for i¿½Severo Ochoai¿½ (CEX2019-000910-S), from the Fundacio 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, DF
) under Grant No. KO 3798/11-1. M.K. acknowledges support from the DFG under Germany'
Excellence Strategy within the Cluster of Excellence PhoenixD (EXC 2122, Project ID
90833453) and Quantum Frontiers (EXC-2123, Project ID 390837967).