



## La polarització circular ja no es un obstacle per a la generació d'alts harmonics

A diferència del que la comunitat científica ha cregut durant molt de temps, investigadors de l'ICFO han demostrat que la llum amb polarització circular sí que pot generar alts harmonics, sempre que contingui fluctuacions prou intenses.

July 02, 2025

La generació d'alts harmonics (HHG, per les seves sigles en anglès) és un procés en el qual un laser molt intens interactua amb un material per produir de nou llum a freqüències moltes més altes (els harmonics de la freqüència del laser incident). Aquesta llum només dura uns pocs attosegons ( $10^{-16}$  segons), fet que la converteix en una eina molt valuosa per observar els moviments electrònics i nuclears dins d'àtoms i molècules; polsos de llum més llargs, en canvi, serien incapaces de captar aquestes dinàmiques, ja que ocorren en escales de temps massa ràpides.

Tot i la gran quantitat de recerca dedicada a comprendre el procés de l'HHG, encara hi

ha qüestions per resoldre. Per exemple, s'ha observat que quan el camp laser incident es una font de llum coherent i clàssica, la seva polarització juga un paper clau en el resultat. En particular, quan la llum està polaritzada circularment -és a dir, el seu camp elèctric rota mentre es propaga- això típicament suprimeix la generació d'altos harmònics en els atòms. Els investigadors de l'ICFO, **Javier Rivera-Dean** i **Philipp Stammer**, dirigits pel **Prof. ICREA Maciej Lewenstein**, en col·laboració amb el Prof. Dr. Marcelo Ciappina del Guangdong Technion - Israel Institute of Technology, han superat aquesta limitació, refutant la creença establerta que la llum amb polarització circular no pot produir altos harmònics. Després d'un mesos de feina, han demostrat teòricament que els altos harmònics poden tornar a sorgir si s'introdueixen fluctuacions prou intenses en la llum laser. Els resultats han estat publicats avui a *Physical Review Letters*.

Concretament, l'equip va considerar llum amb fluctuacions quàntiques dissenyades de manera que no es poguessin descriure només amb la física clàssica, provocades per un fenomen quàntic conegut com a squeezing (compressió quàntica). No només van demostrar l'emissió d'altos harmònics, sinó que també van trobar que les seves freqüències i intensitat depenen molt sensiblement de les propietats quàntiques de la llum, especialment del tipus de squeezing aplicat. Finalment, van vincular aquestes observacions amb canvis en el comportament subjacent dels electrons durant el procés.

Els investigadors assenyalen que no és estrictament necessari utilitzar llum no clàssica per permetre la HHG amb polarització circular; en canvi, les fluctuacions intenses -independentment del seu origen- són el factor clau. Tanmateix, segons el Dr. Javier Rivera-Dean, autor principal de l'article: *El nostre treball obre la possibilitat emocionant d'utilitzar fluctuacions quàntiques estructurades en la llum per modificar el procés de generació d'harmònics, i així plantejar noves preguntes sobre la seva naturalesa i les conseqüències que podria tenir en aplicacions més complexes dins de la ciència dels attosegons.* Per tant, aquest avenç podria oferir nous mètodes amb gran potència per controlar i estudiar la dinàmica electrònica ultraràpida en sistemes complexos, i continuar impulsant el desenvolupament del camp emergent de l'òptica quàntica d'attoseg.

**Referència:**

J. Rivera-Dean, P. Stammer, M. F. Ciappina, and M. Lewenstein. Structured squeezed light allows for high-harmonic generation in classical forbidden geometries. *Phys. Rev. Lett.* (2025)  
DOI: <https://doi.org/10.1103/4hdl-bdwj>

**Agraïments:**

ICFO-QOT group acknowledges support from: European Research Council AdG NOQIA; MCIN/AEI (PGC2018-0910.13039/501100011033, CEX2019-000910-S/10.13039/501100011033, Plan National FIDEUA PID2019-106901GB-I00,

Plan National STAMEENA PID2022-139099NB, I00, project funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by the  $\frac{1}{2}$ European Union NextGenerationEU/PRT " (PRTRC17.I1), FPI); QUANTERA DYNAMITE PCI2022-132919, QuantERA II Programme co-funded by European Union's Horizon 2020 program under Grant Agreement No 101017733; Ministry for Digital Transformation and of Civil Service of the Spanish Government through the QUANTUM ENIA project call - Quantum Spain project, and by the European Union through the Recovery, Transformation and Resilience Plan - NextGenerationEU within the framework of the Digital Spain 2026 Agenda; Fundacio Cellex; Fundacio Mir-Puig; Generalitat de Catalunya (European Social Fund FEDER and CERCA program; Barcelona Supercomputing Center MareNostrum (FI-2023-3-0024); Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union, European Commission, European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA), or any other granting authority. Neither the European Union nor any granting authority can be held responsible for them (HORIZON-CL4-2022-QUANTUM-02-SGA PASQuanS2.1, 101113690, EU Horizon 2020 FET-OPEN OPTologic, Grant No 899794, QU-ATTO, 101168628), EU Horizon Europe Program (This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation program under grant agreement No 101080086 NeQSTGrant Agreement 101080086 - NeQST); ICFO Internal  $\frac{1}{2}$ QuantumGaudii $\frac{1}{2}$  project; P. Stammer acknowledges support from: The European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 847517. M. F. C. acknowledges support from: the National Key Research and Development Program of China (Grant No. 2023YFA1407100), the Guangdong Province Science and Technology Major Project (future functional materials under extreme conditions - 2021B0301030005) and the Guangdong Natural Science Foundation (General Program project No. 2023A1515010871).