



Como generar altos armonicos con luz cuantica a pesar de la decoherencia

La luz de vacio comprimido brillante (BSV, por sus siglas en ingles) interactua fuertemente con la materia, pudiendo incluso generar armonicos de alto orden con propiedades cuanticas. Investigaciones anteriores, sin embargo, solo habian considerado su interaccion con un solo atomo.

Ahora, investigadores del ICFO y colaboradores han estudiado como la BSV se propaga a traves de un medio lleno de atomos de argon, que efectos de decoherencia se producen y como podemos minimizarlos. Los resultados se publican en *Nature Communications*.

August 18, 2026

Los pulsos de luz mas cortos hasta la fecha duran solo unos pocos attosegundos. Son tan increiblemente cortos, mucho mas que un parpadeo, que nuestro cerebro tiene dificultades para imaginarlos. Pero eso es precisamente lo que les permite investigar procesos electronicos extremadamente rapidos, omnipresentes en la vida en la Tierra; procesos que

ocurren cuando se desarrollan reacciones químicas o cuando las moléculas biológicas se transfieren energía entre sí.

La generación de altos armónicos (HHG, por sus siglas en inglés) -la generación de armónicos de alto orden de un pulso de luz cuando este es absorbido por un átomo- es el precursor físico que permite generar los pulsos de luz más cortos a día de hoy. Si bien la HHG ha sido ampliamente estudiada cuando se impulsa mediante una fuente de luz clásica, recientemente se ha demostrado que la luz cuántica también tiene esta capacidad. Pero, ¿permanece esta cuantidad después de la generación de armónicos? Esa es una de las preguntas más importantes que se investigan actualmente.

Existen muchos tipos diferentes de luz cuántica, cada una con propiedades distintas. La luz de vacío comprimido brillante (BSV) es especialmente interesante porque, como su propio nombre indica, presenta compresión -una característica puramente cuántica que reduce el ruido en un observable (por ejemplo, la posición) a expensas de aumentar el ruido en su conjugado (el momento)- y, al mismo tiempo, está constituida por un alto número de fotones. Por lo tanto, la BSV es adecuada para inducir interacciones fuertes entre luz y materia, como las necesarias para la generación de altos armónicos.

Hasta ahora, las investigaciones teóricas sobre la HHG impulsada por BSV solo habían considerado su interacción con un solo átomo. Pero para evaluar la aplicabilidad real de las fuentes de luz BSV se debe considerar un medio lleno de átomos; una situación que es mucho más realista. Este es precisamente el escenario que los investigadores del ICFO, el **Dr. Javier Rivera-Dean** y el **Dr. Philipp Stammer**, dirigidos por el **Prof. Dr. Maciej Lewenstein**, han investigado teóricamente, en colaboración con el Institute of Electronic Structure & Laser en Creta, la Technische Universität Wien, el Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie, ELI ALPS y el Center for Quantum Science and Technology (FORTH-QuTech).

Publicado en *Nature Communications*, el estudio revela que la generación de altos armónicos impulsada por la BSV puede verse oscurecida por la ionización atómica y las pérdidas de fotones, efectos colaterales de la propagación de la BSV a través del medio. Esto degrada las características cuánticas de la radiación, limita su longitud máxima de propagación y disminuye el número de armónicos emitidos.

Afortunadamente, estos efectos de decoherencia no son un obstáculo insuperable.

"Demostramos que, **bajo las condiciones adecuadas, la BSV puede preservar su 'cuantidad' y generar eficientemente armónicos con propiedades cuánticas**", afirma el Prof. del ICFO Maciej Lewenstein, experto de larga trayectoria en HHG que participó en el estudio. Las condiciones incluyen reducir significativamente las pérdidas de fotones debidas a la ionización atómica y controlar cuidadosamente la intensidad de la BSV, de modo que se minimice la decoherencia sin perder la capacidad de generar altos armónicos.

Los investigadores planean ahora determinar las condiciones precisas para la realización experimental. Implementar el marco teórico propuesto permitiría ampliar aún más nuestra

comprension de la propagacion de la BSV a traves de medios, lo que a su vez acercaria los campos de la fisica ultrarrapida y cuantica.

Referencia:

Rivera-Dean, J., Kanti, D., Stammer, P., Carlstrom, S., Tsatrafyllis, N., Ivanov, M. Yu Lewenstein, M., & Tzallas P., Propagation effects in high harmonic generation media drive by bright squeezed vacuum light. *Nat Commun* **17**, 8457 (2026).
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-026-75173-8>

Agradecimientos:

The group of P.T. at FORTH acknowledges the Hellenic Foundation for Research and Innovation (HFRI) and the General Secretariat for Research and Technology (GSRT) under grant agreement CO2toO2 Nr.:015922, the European Union's HORIZON-MSCA-2023-DN-01 project QU-ATTO under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 101168628 and ELI-ALPS. The ELI ALPS project (GINOP-2.3.6-15-2015-00001) is supported by the European Union and co financed by the European Regional Development Fund. H2020-EU research and innovation program under the Marie Skłodowska-Curie (No. 847517). 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 STAMEENA PID2022-139099NB, project funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by the $\frac{1}{2}$ European Union NextGenerationEU/PRT " (PRTR - C17.I1), FPI); project funded by the EU Horizon 2020 FET-OPEN OPTologic, Grant o 899794, QU-ATTO, 101168628), Fundacio Cellex; Fundacio Mir-Puig; Generalitat de Catalunya (European Social Fund FEDER and CERCA program. P.S. acknowledges funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 847517. M.I. and S.C. acknowledge support of the Project No. 545591821 "GENIOUS" and Project No. 560535838 "Qu-NOIR". J. R.- acknowledges funding from UK Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC) Funding, Grant UKRI2300 - Attosecond Photoelectron Imaging with Quantum Light (APIQuL).