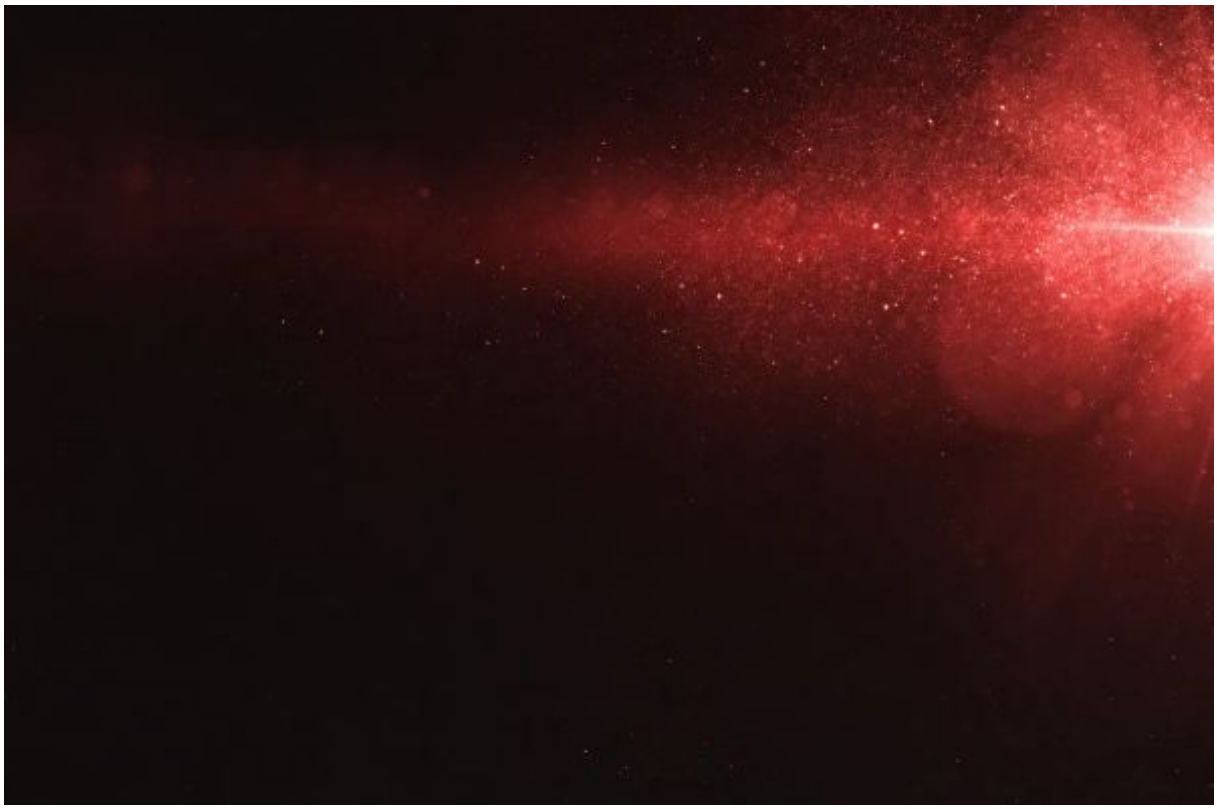

Como generar altos armonicos con luz cuantica a pesar de la decoherencia

La luz de vacio comprimido brillante (BSV, por sus siglas en ingles) interactua fuertemente con la materia, pudiendo inclus generar armonicos de alto orden con propiedades cuanticas Investigaciones anteriores, sin embargo, solo habian considerad 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 e atomos de argon, que efectos de decoherencia se produc n 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 quimicas o cuando las moleculas biologicas se transfieren energia entre si.

La generacion de altos armonicos (HHG, por sus siglas en ingles) -la generacion de armonicos de alto orden de un pulso de luz cuando este es absorbido por un atomo- es el precursor fisico que permite generar los pulsos de luz mas cortos a dia de hoy. Si bien la HHG ha sido ampliamente estudiada cuando se impulsa mediante una fuente de luz clasica, recientemente se ha demostrado que la luz cuantica tambien tiene esta capacidad. Pero, ¿permanece esta cuanticidad despues de la generacion de armonicos? Esa es una de la preguntas mas importantes que se investigan actualmente

Existen muchos tipos diferentes de luz cuantica, cada una con propiedades distintas. La lu de vacio comprimido brillante (BSV) es especialmente interesante porque, como su propi nombre indica, presenta compresion -una caracteristica puramente cuantica que reduce e ruido en un observable (por ejemplo, la posicion) a expensas de aumentar el ruido en s conjugado (el momento)- y, al mismo tiempo, esta constituida por un alto numero de fotones Por lo tanto, la BSV es adecuada para inducir interacciones fuertes entre luz y materia, com las necesarias para la generacion de altos armonicos

Hasta ahora, las investigaciones teoricas sobre la HHG impulsada por BSV solo habia considerado su interaccion con un solo atomo. Pero para evaluar la aplicabilidad real de la fuentes de luz BSV se debe considerar un medio lleno de atomos; una situacion que e mucho mas 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 teoricamente, en colaboracion con el Institute of Electronic Structure & Laser en Creta, la Technische Universitat Wien, el Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik un Kurzzeitspektroskopie, ELI ALPS y el Center for Quantum Science and Technologie (FORTH-QuTech)

Publicado enNature Communications, el estudio revela que la generacion de altos armonicos impulsada por la BSV puede verse oscurecida por la ionizacion atomica y las perdidas de fotones, efectos colaterales de la propagacion de la BSV a traves del medio. Esto degrada las caracteristicas cuanticas de la radiacion, limita su longitud maxima de propagacion y disminuye el numero de armonicos emitidos.

Afortunadamente, estos efectos de decoherencia no son un obstaculo insuperable. "Demostramos que, **bajo las condiciones adecuadas, la BSV puede preservar su ?cuanticidad' y generar eficientemente armonicos con propiedades cuanticas**", afirma el Prof. del ICFO Maciej Lewenstein, experto de larga trayectoria en HHG que participo en el estudio. Las condiciones incluyen reducir significativamente las perdidas de fotones debidas a la ionizacion atomica y controlar cuidadosamente la intensidad de la BSV, de modo que se minimice la decoherencia sin perder la capacidad de generar altos armonicos.

Los investigadores planean ahora determinar las condiciones precisas para la realizacion experimental. Implementar el marco teorico propuesto permitiria ampliar aun mas 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 Sk?odowska-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 Sk?odowska-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 i¿½European 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 Catalun a (European Social Fund FEDER and CERCA program. P.S. acknowledges funding from t e European Union's Horizon 2020 research and innovation program under the Mar e Sk?odowska-Curie grant agreement No 847517. M.I. and S.C. acknowledge support of t e Project No. 545591821 "GENIOUS" and Project No. 560535838 "Qu-NOIR". J. R.- . acknowledges funding from UK Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSR) Funding, Grant UKRI2300 - Attosecond Photoelectron Imaging with Quantum Light (APIQuL).