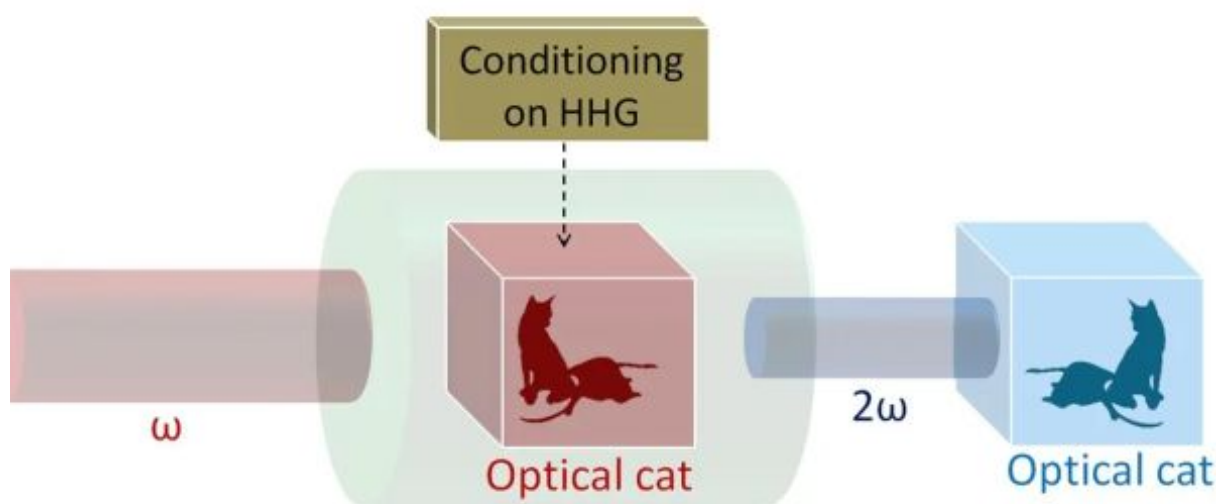




Introduciendo superposiciones de estados coherentes en la optica no lineal

Un equipo de investigadores ha producido estados de luz no clasicos y cuanticos, conocidos como superposiciones de estados coherentes generalizadas (GCSS, por sus siglas en ingles), y los han utilizado exitosamente para impulsar la generacion de segundos armonicos, un proceso optico no lineal. La introduccion de las GCSS opticas en el ambito de la optica cuantica no lineal abre nuevos caminos en la ciencia de la informacion cuantica, la fisica de attosegundos y las tecnologias cuanticas.

January 07, 2025

La superposicion es un principio fundamental de la mecanica cuantica. Este establece que si un sistema cuantico puede existir en dos estados distintos (A o B), tambien puede estar en cualquier superposicion de ambos, dejando el estado exacto del sistema (A o B) indefinido. Este principio, cuando se aplica a los estados coherentes -aquellos que imitan mas de cerca

el comportamiento de la luz clásica-, da lugar a luz cuántica. De hecho, resulta que la superposición de estados coherentes ofrece oportunidades profundas para avanzar en la ciencia y la tecnología cuánticas. En particular, la aplicación de las superposiciones de estados coherentes en el campo de la óptica no lineal tiene un gran potencial para abordar preguntas sin respuesta y descubrir fenómenos novedosos en física cuántica, óptica cuántica e información cuántica.

Sin embargo, los procesos no lineales, para que puedan ocurrir, requieren de campos láser extremadamente fuertes con un alto número medio de fotones. Esto plantea dos grandes desafíos a la hora de integrar estos estados en la óptica no lineal. Primero, lograr tales intensidades mientras se mantienen las propiedades no clásicas de la luz es extremadamente difícil. Y segundo, los métodos estándar para evidenciar la naturaleza cuántica de la luz solo son efectivos con números bajos de fotones.

Ahora, un equipo de investigadores del IESL FORTH, el Dr. Theodoros Lampropoulos y el Dr. Paraskevas Tzallas, y del ICFO, el **Dr. Javier Rivera-Dean**, el **Philipp Stammer** y el **Prof. ICREA Maciej Lewenstein**, ha logrado abordar ambos problemas con éxito. Para ello, crearon superposiciones generalizadas de estados coherentes (GCSS), verificaron su naturaleza cuántica y las emplearon para impulsar un proceso óptico no lineal (lo que, en sí mismo, es indicativo del alto número de fotones e intensidad de dichos estados). Sus hallazgos, demostrados tanto teóricamente como experimentalmente, han aparecido en *Physical Review Letters*.

Usando un pulso láser infrarrojo, el equipo generó GCSS con el mayor número medio de fotones registrado hasta la fecha para tales estados. Luego dirigieron este pulso hacia un cristal óptico, que absorbió la luz y la reemitió como su segundo armónico, es decir, una versión del pulso original con una frecuencia de vibración del doble. Este fenómeno fue inducido por un proceso no lineal llamado generación de segundo armónico.

La creación de GCSS mediante un proceso de campo fuerte se observó por primera vez en un estudio anterior, del año 2021. Aunque esos resultados sugerían el potencial e números altos de fotones, aún faltaban pruebas directas, explica el Dr. Javier Rivera. En este trabajo, cerramos esa brecha al demostrar la naturaleza de alto número de fotones de las GCSS mediante su capacidad para impulsar procesos ópticos no lineales.

Un puente entre la óptica cuántica y la física de campos fuertes

El estudio en sí ya representa una aplicación fundamental. En él se demuestra que, combinando la óptica cuántica con la física de campos fuertes -el área que explora cómo la materia interactúa con campos láser altamente intensos-, es posible crear campos láser intensos con estadísticas de fotones no clásicas, capaces de impulsar procesos ópticos no lineales.

Pero la integración de estas dos disciplinas, un objetivo que los investigadores en ambos campos hace tiempo que persiguen, abre aún más posibilidades emocionantes. La ciencia de

la información cuántica, por ejemplo, que ya se solapa con la óptica cuántica, podría beneficiarse al incorporar la física de campos fuertes. De manera similar, la ciencia de attosegundos, que depende de campos láser de alta intensidad, podría avanzar al aprovechar características cuánticas, que a menudo se pasan por alto en los enfoques tradicionales.

Además, el método desarrollado está libre de efectos de decoherencia. La decoherencia, un proceso en el que los estados cuánticos pierden su calidad inicial debido a interacciones con el entorno, es un obstáculo importante para la gran mayoría de las tareas de información cuántica. Desarrollar estados cuánticos que sean resistentes a la decoherencia o técnicas para mitigar sus efectos es, por tanto, esencial para avanzar hacia tecnologías cuánticas prácticas. Por ello, los estados generados en este trabajo, así como los métodos utilizados para crearlos, podrían desempeñar un papel clave para superar el problema de la decoherencia.

Referencia:

Th. Lamprou, J. Rivera-Dean, P. Stammer, M. Lewenstein, and P. Tzallas, Nonlinear Optics Using Intense Optical Coherent State Superpositions. *Phys. Rev. Lett.* 134, 013601 (2025). DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.013601>

Agradecimientos:

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, the LASERLABEUROPE V (H2020-EU.1.4.1.2 grant no.871124) and ELI-ALPS. ELI-ALPS is supported by the EU and co-financed by the European Regional Development Fund (GINOP No. 2.3.6-15-2015-00001). H2020-EU research and innovation program under the Marie Skłodowska-Curie (No. 847517). Government of Spain (Severo Ochoa CEX2019-000910-S and TRANQI), Fundacio Cellex, Fundacio Mir-Puig, Generalitat de Catalunya (CERCA program) and the ERC AdG CERQUTE. ERC AdG NOQIA; MCIN/AEI (PGC2018-0910.13039/501100011033, CEX2019-000910-S/10.13039/501100011033, Plan National FIDEUA PID2019-106901GB-I00, STAMEENA PID2022-139099NB, I00, project funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by the EU Next Generation EU/PRTR (PRTRC17.I1), FPI). QUANTERA MAQS PCI2019-111828-2; QUANTERA DYNAMITE PCI2022-132919, QuantERA II Programme co-funded by H2020-EU program (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 EU through the Recovery, Transformation and Resilience Plan-Next Generation EU within the framework of the Digital Spain 2026 Agenda; Fundacio Cellex; Fundacio Mir-Puig; Generalitat

de Catalunya (European Social Fund FEDER and CERCA program, AGAUR Grant No. 2021 SGR 01452, QuantumCAT \U16-011424, co-funded by ERDF Operational Program of Catalonia 2014-2020); Barcelona Supercomputing Center MareNostrum (FI-2023-1-0013) funded by the EU. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the EU, European Commission, European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA), or any other granting authority. Neither the EU nor any granting authority can be held responsible for them (EU Quantum Flagship PASQuans2.1, 101113690, EU H2020 FET-OPEN OPTologic (No 899794), EU Horizon Europe Program (No 101080086-NeQST); ICFO Internal i½QuantumGaudi½ project; EU H2020 program under the Marie Skłodowska-Curie (No. 847648); i½La Caixa½ Junior Leaders fellowships, La Caixa½ Foundation (ID 100010434): CF/BQ/PR23/1198043. P.S. acknowledges funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 847517.