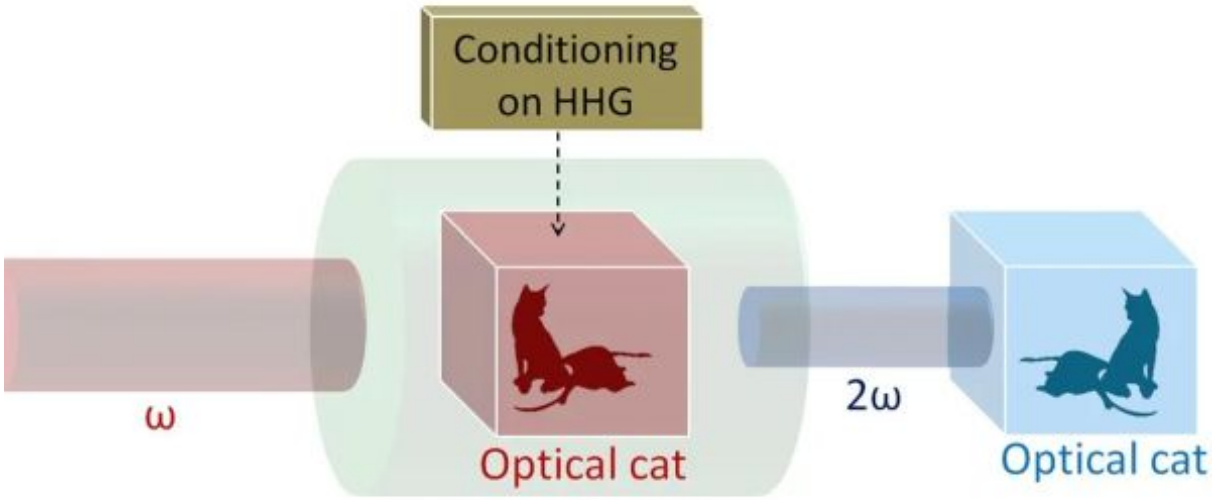


Introduciendo superposiciones de estados coherentes en la optica no lineal

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 clasica-, da lugar a luz cuantica. De hecho, resulta que la superposicion de estados coherentes ofrece oportunidades profundas para avanzar en la ciencia y la tecnologia cuanticas. En particular, la aplicacion de las superposiciones de estados coherentes en el campo de la optica no lineal tiene un gran potencial para abordar preguntas sin respuesta y descubrir fenomenos novedosos en fisica cuantica, optica cuantica e informacion cuantica.

Sin embargo, los procesos no lineales, para que puedan ocurrir, requieren de campos laser extremadamente fuertes con un alto numero medio de fotones. Esto plantea dos grandes desafios a la hora de integrar estos estados en la optica no lineal. Primero, lograr tales intensidades mientras se mantienen las propiedades no clasicas de la luz es extremadamente dificil. Y segundo, los metodos estandar para evidenciar la naturaleza cuantica de la luz solo son efectivos con numeros bajos de fotones.

Ahora, un equipo de investigadores del IESL FORTH, el Dr. Theocharis Lamprou 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 exito. Para ello, crearon superposiciones generalizadas de estados coherentes (GCSS), verificaron su naturaleza cuantica y las emplearon para impulsar un proceso optico no lineal (lo que, en si mismo, es indicativo del alto numero de fotones e intensidad de dichos estados). Sus hallazgos, demostrados tanto teorica como experimentalmente, han aparecido en Physical Review Letters.

Usando un pulso laser infrarrojo, el equipo genero GCSS con el mayor numero medio de fotones registrado hasta la fecha para tales estados. Luego dirigieron este pulso hacia un cristal optico, que absorbio la luz y la reemitio como su segundo armonico, es decir, una version del pulso original con una frecuencia de vibracion del doble. Este fenomeno fue inducido por un proceso no lineal llamado generacion de segundo armonico.

i¿½La creacion de GCSS mediante un proceso de campo fuerte se observo por primera v z en un estudio anterior, del ano 2021. Aunque esos resultados sugerian el potencial e numeros altos de fotones, aun faltaban pruebas directasi¿½, explica el Dr. Javier Rivera. i ?½En este trabajo, cerramos esa brecha al demostrar la naturaleza de alto numero de foto es de las GCSS mediante su capacidad para impulsar procesos opticos no linealesi¿½

Un puente entre la optica cuantica y la fisica de campos fuertes

El estudio en si ya representa una aplicacion fundamental. En el se demuestra que, combinando la optica cuantica con la fisica de campos fuertes -el area que explora como la materia interactua con campos laser altamente intensos-, es posible crear campos laser intensos con estadisticas de fotones no clasicas, capaces de impulsar procesos opticos no lineales.

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

la informacion cuantica, por ejemplo, que ya se solapa con la optica cuantica, podria beneficiarse al incorporar la fisica de campos fuertes. De manera similar, la ciencia de attosegundos, que depende de campos laser de alta intensidad, podria avanzar al aprovechar caracteristicas cuanticas, que a menudo se pasan por alto en los enfoques tradicionales.
Ademas, el metodo desarrollado esta libre de efectos de decoherencia. La decoherencia, un proceso en el que los estados cuanticos pierden su calidad inicial debido a interacciones con el entorno, es un obstaculo importante para la gran mayoria de las tareas de informacion cuantica. Desarrollar estados cuanticos que sean resistentes a la decoherencia o tecnicas para mitigar sus efectos es, por tanto, esencial para avanzar hacia tecnologias cuanticas practicas. Por ello, los estados generados en este trabajo, asi como los metodos utilizados para crearlos, podrian desempenar 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 Sk?odowska-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 Sk?odowska-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 i¿½QuantumGaudii¿½ project; EU H 020 program under the Marie Sklodowska-Curie (No. 847648); i¿½La Caixai¿½ Junior Leaders fellowships, La Caixai¿½ Foundation (ID 100010434): CF/BQ/PR23/1198 043. P.S. acknowledges funding from the European Union's Horizon 2020 research and nnovation programme under the Marie Sk?odowska-Curie grant agreement No 847517.