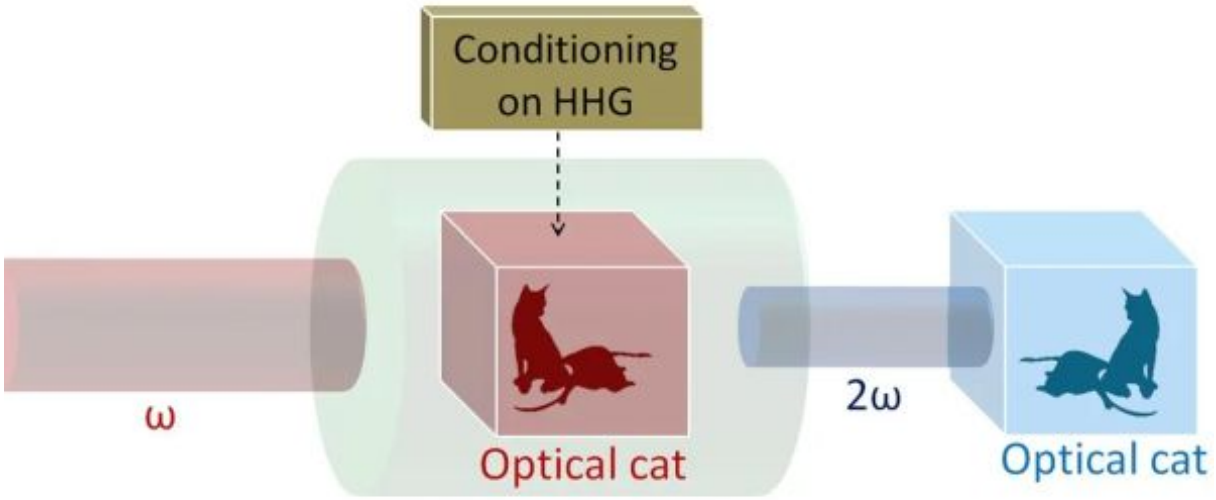



# Introduint superposicions d'estats coherents en l'optica no lineal

## Un equip d'investigadors ha produit estats quantics de llum no classica, coneguts com a superposicions d'estats coherents generalitzades (GCSS, per les seves sigles en angles), i els han utilitzat amb exit per impulsar la generacio de segons harmonics, un proces optic no lineal. La introduccio de les GCSS optiques en l'ambit de l'optica quantica no lineal obre nous camins en la ciencia de la informacio quantica, la fisica d'attosegons i les tecnologies quantiques.

January 07, 2025

La superposicio es un principi fonamental de la mecanica quantica. Aquest estableix que, si un sistema quantic pot existir en dos estats diferents (A o B), tambe pot estar en qualsevol superposicio d'ambdos, deixant l'estat exacte del sistema (A o B) indefinit. Aquest principi, quan s'aplica als estats coherents -aquells que imiten mes fidelment el comportament de la llum classica-, dona lloc a la llum quantica. De fet, resulta que la superposicio d'estats coherents ofereix oportunitats profundes per avancar en la ciencia i la tecnologia

quantiques. En particular, l'aplicacio de les superposicions d'estats coherents en el camp de l'optica no lineal te un gran potencial per abordar preguntes sense resposta i descobrir fenomens nous en fisica quantica, optica quantica i informacio quantica.
Tanmateix, per tal que els processos no lineals puguin ocorrer, calen camps laser extremadament forts amb un nombre mitja de fotons alt. Aixo planteja dos grans reptes a l'hora d'integrar aquests estats en l'optica no lineal. Primer, assolir aquestes intensitats mantenint alhora les propietats no classiques de la llum es extremadament dificil. I segon, els metodes estandard per evidenciar la naturalesa quantica de la llum nomes son efectius amb nombres baixos de fotons.
Ara, un equip d'investigadors de l'IESL FORTH, el Dr. Theocharis Lamprou i el Dr. Paraskevas Tzallas, i de l'ICFO, el **Dr. Javier Rivera-Dean**, en **Philipp Stammer** y el **Prof. ICREA Maciej Lewenstein**, ha aconseguit abordar amb exit tots dos problemes. Per fer-ho, van crear superposicions generalitzades d'estats coherents (GCSS), en van verificar la naturalesa quantica i les van emprar per impulsar un proces optic no lineal (fet que, per si sol, ja es indicatiu del gran nombre de fotons i intensitat d'aquests estats). Els seus resultats, demostrats tant teorica com experimentalment, han estat publicats a Physical Review Letters .
Utilitzant un pols laser infraroig, l'equip va generar GCSS amb el major nombre mitja de fotons registrat fins ara per a aquests estats. Despres van dirigir aquest pols cap a un cristall optic, que va absorbir la llum i la va re-emetre com el seu segon harmonic, es a dir, una versio del pols original amb una freqüencia de vibracio del doble. Aquest fenomen va se induit per un proces no lineal anomenat generacio de segon harmonic
i¿½La creacio de GCSS mitjancant un proces de camp fort es va observar per primera veg da en un estudi anterior, de l'any 2021. Tot i que aquells resultats suggerien el potencial de nombres alts de fotons, encara faltaven proves directesi¿½, explica el Dr. Javier Rivera.
¿½En aquest treball, tanquem aquesta bretxa demostrant la naturalesa de gran nombre de fotons de les GCSS a traves de la seva capacitat per impulsar processos optics no lineIsi¿½,

**Un pont entre l'optica quantica i la fisica de camps forts**

L'estudi ja representa una aplicacio fonamental en si mateix. En ell es demostra que, combinant l'optica quantica amb la fisica de camps forts -l'ambit que explora com la materia interactua amb camps laser altament intensos-, es possible crear camps laser intensos amb estadistiques de fotons no classiques, capacos d'impulsar processos optics no lineals.
Pero la integracio d'aquestes dues disciplines, un objectiu que els investigadors de tots dos camps fa temps que persegueixen, encara obre mes possibilitats emocionants. La ciencia de la informacio quantica, per exemple, que ja se solapa amb l'optica quantica, podria beneficiar-se de la incorporacio de la fisica de camps forts. De manera similar, la ciencia d'attosegons, que depen de camps laser d'alta intensitat, podria avancar aprofitant

caracteristiques quantiques que sovint passen desapercebudes en els enfocaments tradicionals.
A mes, el metode desenvolupat esta lliure d'efectes de decoherencia. La decoherencia, un proces en que els estats quantics perden la seva qualitat inicial a causa d'interaccions amb l'entorn, es un obstacle important per a la gran majoria de les tasques d'informacio quantica. Desenvolupar estats quantics que siguin resistents a la decoherencia o tecniques per mitigar-ne els efectes es, per tant, essencial per avancar cap a tecnologies quantiques practiques. Per aixo, els estats generats en aquest treball, aixi com els metodes utilitzats per crear-los, podrien jugar un paper clau en 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

**Agraiments:**
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.