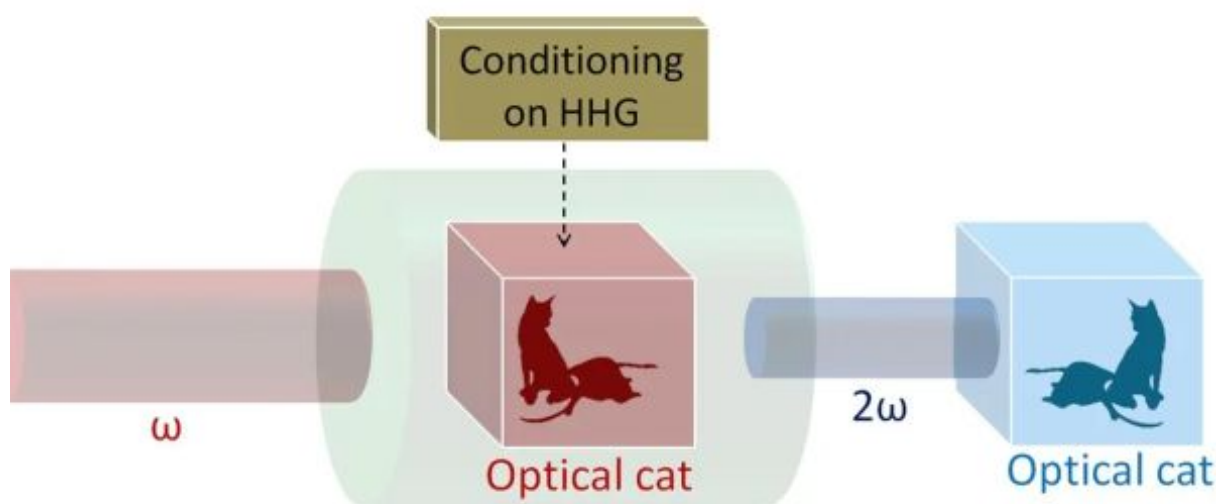




Introduint superposicions d'estats coherents en l'optica no lineal

Un equip d'investigadors ha produït estats quàntics de llum no clàssica, coneguts com a superposicions d'estats coherents generalitzades (GCSS, per les seves sigles en anglès), i els han utilitzat amb èxit per impulsar la generació de segons harmònics, un procés òptic no lineal. La introducció de les GCSS òptiques en l'àmbit de l'òptica quàntica no lineal obre nous camins en la ciència de la informació quàntica, la física d'attosegons i les tecnologies quàntiques.

January 07, 2025

La superposició és un principi fonamental de la mecànica quàntica. Aquest estableix que, si un sistema quàntic pot existir en dos estats diferents (A o B), també pot estar en qualsevol superposició d'ambdós, deixant l'estat exacte del sistema (A o B) indefinit. Aquest principi, quan s'aplica als estats coherents -aquells que imiten més fidelment el comportament de la llum clàssica-, dona lloc a la llum quàntica. De fet, resulta que la superposició d'estats coherents ofereix oportunitats profundes per avançar en la ciència i la tecnologia

quantiques. En particular, l'aplicació de les superposicions d'estats coherents en el camp de l'òptica no lineal té un gran potencial per abordar preguntes sense resposta i descobrir fenòmens nous en física quàntica, òptica quàntica i informació quàntica.

Tanmateix, per tal que els processos no lineals puguin ocórrer, calen camps laser extremadament forts amb un nombre mitjà de fotons alt. Això planteja dos grans reptes a l'hora d'integrar aquests estats en l'òptica no lineal. Primer, assolir aquestes intensitats mantenint alhora les propietats no clàssiques de la llum és extremadament difícil. I segon, els mètodes estàndard per evidenciar la naturalesa quàntica de la llum només són efectius amb nombres baixos de fotons.

Ara, un equip d'investigadors de l'IESL FORTH, el Dr. Theodoros Lamprou i el Dr. Paraskevas Tzallas, i de l'ICFO, el **Dr. Javier Rivera-Dean**, el **Philipp Stammer** i el **Prof. ICREA Maciej Lewenstein**, ha aconseguit abordar amb èxit tots dos problemes. Per fer-ho, van crear superposicions generalitzades d'estats coherents (GCSS), en van verificar la naturalesa quàntica i les van emprar per impulsar un procés òptic no lineal (fet que, per si sol, ja és indicatiu del gran nombre de fotons i intensitat d'aquests estats). Els seus resultats, demostrats tant teòricament com experimentalment, han estat publicats a *Physical Review Letters*.

Utilitzant un pols laser infraroig, l'equip va generar GCSS amb el major nombre mitjà de fotons registrat fins ara per a aquests estats. Després van dirigir aquest pols cap a un cristall òptic, que va absorbir la llum i la va re-emetre com el seu segon harmònic, és a dir, una versió del pols original amb una freqüència de vibració del doble. Aquest fenomen va ser induït per un procés no lineal anomenat generació de segon harmònic.

La creació de GCSS mitjançant un procés de camp fort es va observar per primera vegada en un estudi anterior, de l'any 2021. Tot i que aquells resultats suggerien el potencial de nombres alts de fotons, encara faltaven proves directes, explica el Dr. Javier Rivera. En aquest treball, tanquem aquesta bretxa demostrant la naturalesa de gran nombre de fotons de les GCSS a través de la seva capacitat per impulsar processos òptics no lineals.

Un pont entre l'òptica quàntica i la física de camps forts

L'estudi ja representa una aplicació fonamental en si mateix. En ell es demostra que, combinant l'òptica quàntica amb la física de camps forts -l'àmbit que explora com la matèria interactua amb camps laser altament intensos-, és possible crear camps laser intensos amb estadístiques de fotons no clàssiques, capaçs d'impulsar processos òptics no lineals. Però la integració d'aquestes dues disciplines, un objectiu que els investigadors de tots dos camps fa temps que persegueixen, encara obre més possibilitats emocionants. La ciència de la informació quàntica, per exemple, que ja se solapa amb l'òptica quàntica, podria beneficiar-se de la incorporació de la física de camps forts. De manera similar, la ciència d'attosegons, que depèn de camps laser d'alta intensitat, podria avançar aprofitant

característiques quàntiques que sovint passen desapercibudes en els enfocaments tradicionals.

A més, el mètode desenvolupat està lliure d'efectes de decoherència. La decoherència, un procés en què els estats quàntics perden la seva qualitat inicial a causa d'interaccions amb l'entorn, és un obstacle important per a la gran majoria de les tasques d'informació quàntica. Desenvolupar estats quàntics que siguin resistents a la decoherència o tècniques per mitigar-ne els efectes és, per tant, essencial per avançar cap a tecnologies quàntiques pràctiques. Per això, els estats generats en aquest treball, així com els mètodes utilitzats per crear-los, podrien jugar un paper clau en superar el problema de la decoherència.

Referència:

Th. Lampropoulos, 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>

Agraïments:

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), Fundació Cellex, Fundació Mir-Puig, Generalitat de Catalunya (CERCA program) and the ERC AdG CERQUITE. 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; Fundació Cellex; Fundació 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 $i\frac{1}{2}$ QuantumGaudii $i\frac{1}{2}$ project; EU H2020 program under the Marie Skłodowska-Curie (No. 847648); $i\frac{1}{2}$ La Caixa $i\frac{1}{2}$ Junior Leaders fellowships, La Caixa $i\frac{1}{2}$ Foundation (ID 100010434): CF/BQ/PR23/1198 043. P.S. acknowledges funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 847517.