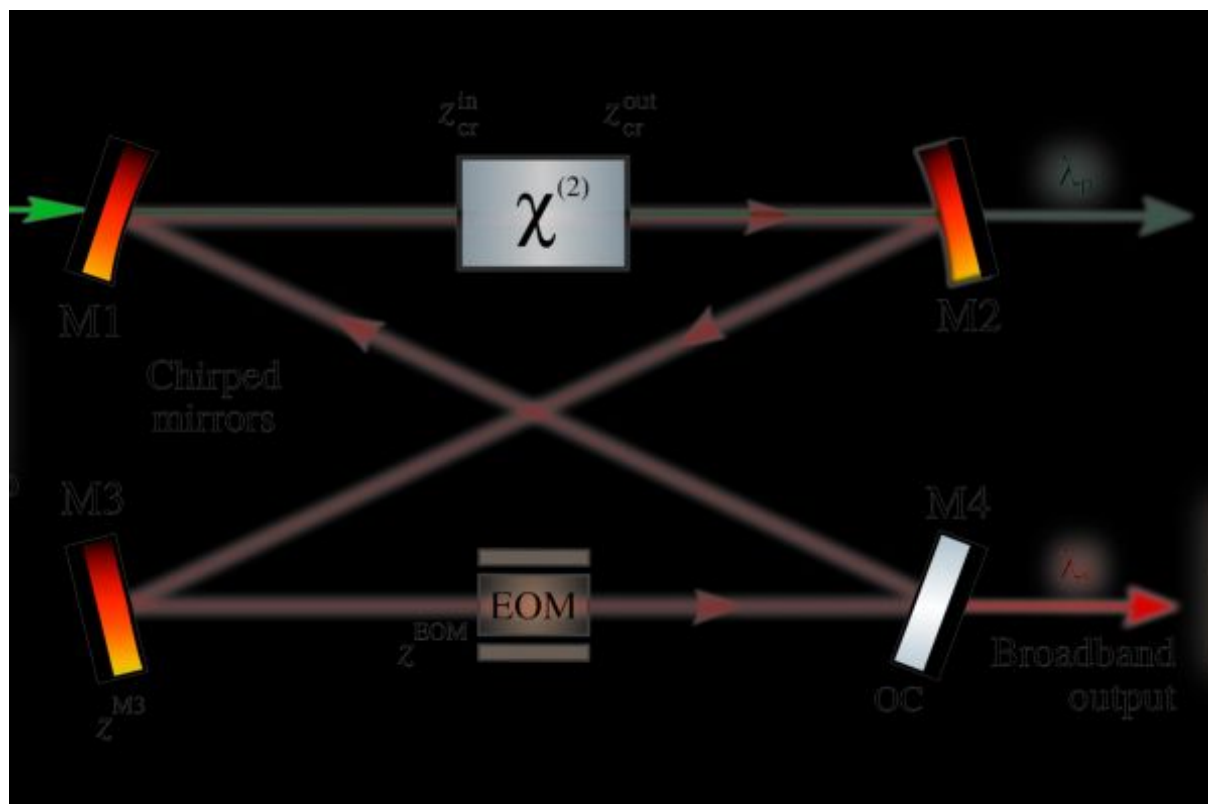




Un enfocament innovador per a la generació de pintes de freqüència promet simplicitat i precisió

Presenten un enfocament innovador per a la generació de pintes de freqüència amb excel·lents propietats temporals i espectral, basat en diferents materials no lineals i fonts laser de bombament. Aquest avenç obre la porta a la realització de pintes de freqüència compactes, simplificades i rendibles.

May 15, 2025

Els àtoms, molècules i altres espècies interactuen amb la llum emetent i absorbint freqüències específiques, que en conjunt constitueixen els seus espectres. Una línia espectral és una banda més brillant o més fosca dins d'un espectre que, d'altra manera, seria uniforme i continu. Quan un sistema laser presenta una sèrie de línies espectrals espaiades uniformement, s'anomena, en una clara analogia, pinta de freqüència. Les pintes de freqüència s'han convertit en eines essencials en nombrosos camps, incloent-hi l'espectroscòpia, la metrologia de freqüència i les comunicacions òptiques. Tot i l'èxit

els mètodes tradicionals per generar pintes de freqüència, encara hi ha desafiaments relacionats amb la complexitat, el cost, la flexibilitat operativa i l'accessibilitat generalitzada. Desenvolupar pintes de freqüència d'alta qualitat que compleixin aquests requisits tindria, molt probablement, un impacte significatiu en totes aquestes aplicacions.

En un article publicat a *Physical Review Research*, el **Dr. Alfredo Sanchez**, investigador de l'ICFO, amb el Dr. Chaitanya Kumar Suddapalli, del Tata Institute of Fundamental Research Hyderabad, dirigits pel **Prof. ICREA de l'ICFO, el Dr. Majid Ebrahim-Zadeh**, proposeix teòricament un nou enfocament per generar pintes de freqüència amb excel·lents característiques temporals i espectrals.

En particular, les pintes simulades presenten un espectre de banda ampla amb bloqueig de fase, la qual cosa significa que cobreixen un ampli rang de freqüències i que les fases de les ones corresponents a diferents components de freqüència es mantenen fixes entre si. Aquest bloqueig de fase garanteix que les línies de freqüència es mantinguin uniformement espaiades i coherents en el temps. Això és crucial per a diverses aplicacions que requereixen mesures d'alta resolució i sense interferències de senyal, com ara la metrologia, l'espectroscopia o les tecnologies de comunicació.

A més, en analitzar l'evolució temporal dels senyals, els investigadors observen solitons quadràtics de femtosegons -formes d'ona extremadament breus (en l'escala de femtosegons) que viatgen sense canviar la seva forma (solitons), seguint una relació matemàtica quadràtica específica. Comprendre i controlar aquests solitons permet dissenyar dispositius òptics avançats per a la transmissió de dades a alta velocitat, mesures de precisió i processament d'informació, entre d'altres.

L'enfocament proposat consisteix a irradiar amb un laser d'ona contínua un oscil·lador òptic paramètric (OPO, per les seves sigles en anglès), un dispositiu òptic no lineal que converteix un sol fotó entrant en dos fotons de menor energia. Però, segons el Professor ICREA Majid Ebrahim-Zadeh, i és la clau per al funcionament exitós d'aquesta font tan excepcional és el control de la dispersió de la velocitat de grup, un concepte nou explorat per primera vegada en OPOs d'ona contínua. La dispersió de la velocitat de grup provoca que diferents components de freqüència dins d'un pols de llum viatgin a velocitats diferents a través d'un medi. Sense un control adequat, aquesta dispersió pot distorsionar el resultat final, compromentent la coherència i l'estabilitat de les pintes de freqüència generades i, per tant, degradant-ne la qualitat. La tècnica proposada per l'equip ha demostrat ser efectiva per contrarestar els efectes de la dispersió de la velocitat de grup, la qual cosa és essencial per generar un espectre coherent, de banda ampla i amb bloqueig.

En conjunt, els resultats de l'estudi obren la porta a una nova classe de fonts de pintes de freqüència d'alt rendiment, cosa que podria permetre dissenys més compactes, simplificats i rendibles. Això, al seu torn, podria reduir les barreres d'entrada per a laboratoris i indústries que volen implementar aquest tipus de tecnologia.

Referencia:

A. D. Sanchez, S. Chaitanya Kumar, M. Ebrahim-Zadeh, Quadratic frequency comb based on phase-modulated cw-driven optical parametric oscillator with intracavity dispersion control, Phys. Rev. Research 7, 023110 (2025).

Agraiments:

We gratefully acknowledge funding from the Ministerio de Ciencia e Innovacion (MCIN) and the State Research Agency (AEI), Spain (Project Nutech PID2020-112700RB-I00); Project Ultrawave EUR2022-134051 funded by MCIN/AEI and by the $\frac{1}{2}$ European Union NextGenerationEU/PRTR; Severo Ochoa Programme for Centres of Excellence in Research (CEX2019-000910-S); Generalitat de Catalunya (CERCA); Fundacion Cellex; Fundacio Mir-Puig. S. Chaitanya Kumar acknowledges support of the Department of Atomic Energy, Government of India, under Project Identification No. RTI 4007.

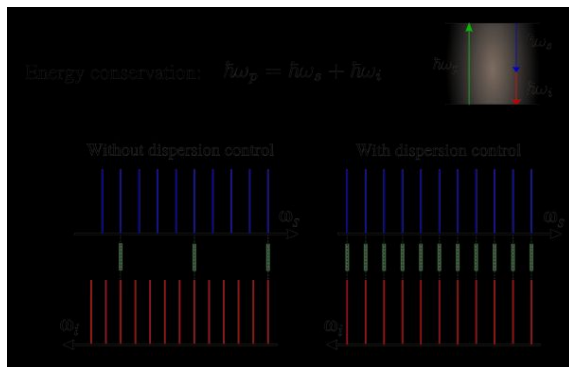


Diagrama d'energia del procés i dels modes de la cavitat sense (esquerra) i amb (dreta) compensació de dispersió. Font: Physical Review Research.