



Investigadors revelen teòricament la generació d'alts harmonics com a nova font de llum quàntica comprimida

Un equip d'investigadors demostra teòricament que la llum emesa a partir d'un procés de generació d'alts harmonics (HHG, per les sigles angleses) no és clàssica, sinó quàntica i comprimida. L'estudi revela el potencial de la HHG com a nova font de llum brillant entrellacada i comprimida, dues característiques inherentment quàntiques amb diverses aplicacions d'avantguarda dins de les tecnologies quàntiques.

April 09, 2024

La generació d'alts harmonics és un fenomen altament no lineal on un sistema (per exemple, un àtom) absorbeix molts fotons d'un laser entrant i emet un sol foto d'energia molt major. Aquest procés és crucial per a l'attociència (la ciència dels processos ultraràpids), ja que genera polsos de llum ultraviolada d'attosegons, un ingredient essencial per a moltes

aplicacions dins del camp. En aquest regim, els experiments de HHG es poden explicar amb gran èxit mitjançant la teoria semiclasica: la matèria (els electrons dels àtoms) s'explica a través de la mecànica quàntica, mentre que la llum entrant es tracta de manera clàssica. Segons aquest enfocament, com era esperable, la llum emesa resulta ser clàssica, cosa que coincideix amb totes les observacions anteriors.

Tot i això, els físics tendeixen a sentir-se incòmodes quan utilitzen dues teories diferents (la quàntica i la clàssica) per a descriure el mateix fenomen. Durant els darrers anys, els esforços per comprendre la HHG des d'una perspectiva òptica quàntica completa han anat creixent, però una descripció més general que mostri diferents aspectes de la naturalesa quàntica de la radiació sortint semblava una fita difícil d'assolir.

Ara, els investigadors de l'ICFO **Philipp Stammer**, **Javier Rivera**, **Dr. Javier Argüello** dirigits pel **Prof. ICREA Maciej Lewenstein**, juntament amb investigadors d'altres institucions (la Universitat d'Àrhus, la Universitat de Creta, ELI-ALPS, Guadong Technion-Institut Tecnològic d'Israel) han descrit teòricament la generació d'alts harmònics utilitzant únicament la física quàntica i, per primera vegada, han trobat característiques tant de compressió com d'entrellacament simultàniament en la llum emesa. L'estudi, publicat a *Physical Review Letter*, explica per què les descripcions clàssiques anteriors no contradien les observacions i, ara, revela un nou mètode per generar recursos òptics quàntics amb **compressió** i **entrellacament massiu** en un nou regim de freqüències brillant, dues característiques d'interès tecnològic actual.

Un nou mètode per a generar entrellacament i compressió en la llum

L'**entrellacament** resideix al nucli de la física quàntica, es tracta d'una de les seves característiques definidores. A grans trets, quan dues partícules s'entrellacen, mesurar-ne una influeix els resultats que s'obtingran després de mesurar l'altra. Contraintuïtivament, això continua sent vàlid quan aquestes partícules se separen arbitràriament, cosa que provoca les anomenades "correlacions no locals". Avui dia, l'entrellacament no es considera un fenomen merament curiós. En canvi, hi ha un gran consens sobre el seu paper clau dins de les tecnologies quàntiques. És per això que la comunitat quàntica està buscant maneres de generar entrellacament, no només entre dues partícules, sinó també entre una quantitat major d'elles (entrellacament multipartit).

Una altra característica quàntica definidora és el soroll inevitable quan es mesuren alguns parells específics de propietats d'un sistema físic (per exemple, la posició i el moment). Per als estats quasi clàssics, també anomenats *i*½ estats coherents *i*½, la quantitat d'incertesa és igual per a les dues propietats i el seu producte és mínim. Ara bé, amb els estats comprimits es pot disminuir el soroll d'una propietat (per exemple, de la posició) a costa d'augmentar-ne l'altra (del moment), mantenint el seu producte en el valor més baix possible. Aquesta característica, una manifestació directa de la naturalesa quàntica dels estats comprimits, els fa desitjables per a diverses aplicacions en tecnologia quàntica.

ca. Els models òptics quàntics teòrics tradicionals d'HHG descriuen els modes del feix de llum resultant (és a dir, les diferents freqüències en les que oscil·la el camp electromagnètic) com a estats coherents sense entrellacament, independents entre si. En aquest context, l'article publicat recentment ha aportat dues idees valloses. En primer lloc, assenyala que estudis anteriors van ignorar els diferents estats que l'electro pot ocupar durant el procés de la HHG i que, per això, l'estat final de la llum no mostra cap característica quàntica. Tot i que aquesta suposició era raonable en la majoria dels experiments, no proporcionava l'explicació més general del fenomen. En segon lloc, els investigadors van millorar tot el càlcul tenint en compte explícitament els diferents estats que l'electro pot ocupar. L'estat final de la llum resultant mostrava trets quàntics pel que fa als modes comprimits, en lloc de ser coherents; i a que aquests ja no eren independents, sinó que mostraven un entrellacament multipartit. Els investigadors de l'ICFO indiquen que aquesta situació, encara que no és estàndard per a experiments d'attosgons, podria ser relativament fàcil de dissenyar al laboratori. En definitiva, l'equip ha demostrat que, en condicions experimentals específiques però factibles, es pot fer servir l'HHG com a font de llum comprimida amb entrellacament multipartit. El primer autor de l'article, Philipp Stammer, explica que els estats massivament entrellacats són importants per a les tecnologies quàntiques òptiques i obren un nou camp de recerca, la generació de camps de llum extrems amb propietats quàntiques. Les aplicacions podrien implicar àrees com l'espectroscòpia quàntica, l'òptica no lineal o la metrologia quàntica, on l'entrellacament i la compressió poden proporcionar un avantatge sobre els lasers clàssics. Ara cal una realització experimental del seu descobriment per poder explotar aquesta nova font de llum quàntica en tot el seu potencial.