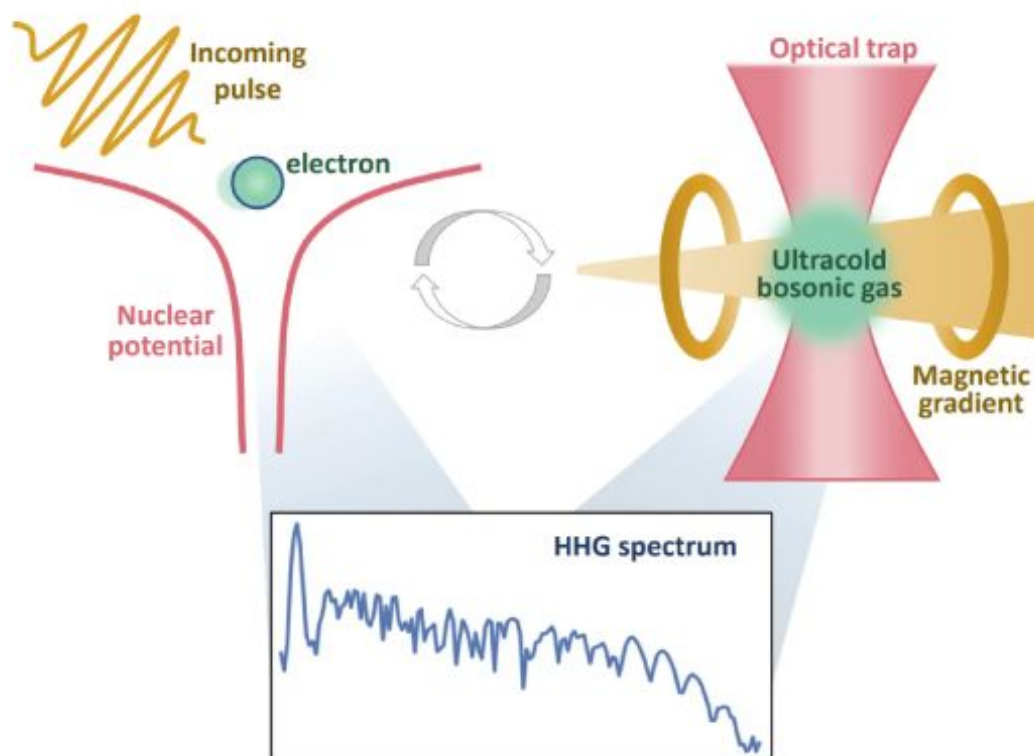




Nous simuladors analogics poden facilitar l'estudi de processos dinamics ultrarapids

Un equip d'investigadors ha proposat teòricament una nova plataforma experimental basada en simulació analògica amb núvols d'àtoms per estudiar la generació d'alts harmonics, un procés dinàmic ultraràpid l'estudi del qual desafia els mètodes computacionals convencionals. El simulador es pot adaptar per abordar una àmplia gamma de fenòmens complexos, obrint la porta a regims que per la teoria i l'experimentació directa resulten difícils d'assolir.

February 21, 2024

Malgrat tots els èxits en la comprensió de la dinàmica dels electrons a la seva escala de temps natural d'attosegons (18 ordres de magnitud menors que un segon), un dels processos fonamentals centrals d'aquest camp, la generació d'alts harmonics (de l'angles [high harmonic generation](#) o HHG), continua representant un repte per a la simulació d'àtoms

freds. Es tracta d'un fenomen altament no lineal en que un sistema absorbeix molts fotons d'un laser entrant i emet un sol foto d'energia molt major.

Les característiques úniques de l'HHG la converteixen en una font excepcional de radiació ultraviolada extrema i, en conseqüència, de polsos de llum d'attosegons, els quals tene aplicacions importants en diversos camps com l'òptica no lineal o la ciència dels attosegons. El principal obstacle que impedeix l'estudi d'aquest procés, a banda de la velocitat ràpid amb que es produeix, és l'elevat nombre de variables implicades. En qualsevol material dona hi són presents molts àtoms i electrons, de manera que estudiar la majoria dels processos químics que hi tenen lloc en tota la seva complexitat requeriria no només descriure tot aquests components, sinó també les seves interaccions amb camps externs i fins i tot entre ells mateixos. Això resulta ser una tasca extremadament desafiant per a qualsevol ordinador clàssic actual. Una ruta alternativa consisteix en utilitzar dispositius quàntics, construint els anomenats simuladors analògics, la naturalesa dels quals els permet captar millor la complexitat del sistema.

Ara, els investigadors de **ICFO Javier Argüello, Javier Rivera i Philipp Stammer**, liderats pel **Prof. ICREA de l'ICFO Maciej Lewenstein** i en col·laboració amb altres instituts de tot el món (Universitat d'Aarhus, Universitat de Califòrnia i Guangdong Technicon-Institut Tecnològic d'Israel) han proposat, en una publicació del *Physical Review X Quantum*, un simulador analògic per accedir a l'espectre d'emissió de l'HHG utilitzant núvols atòmics ultrafreds. A part de mostrar que era possible una replicació precisa de les característiques clau dels processos de l'HHG als àtoms, també ofereixen detalls sobre com implementar-la en objectius atòmics específics i analitzen les principals fonts d'errors.

El potencial de la simulació analògica

Un simulador analògic permet als científics estudiar un sistema quàntic complex (computacionalment exigent) mitjançant el control i la manipulació d'un de molt més simple, que es pot abordar experimentalment. Tot i això, no totes les opcions són vàlides, ha d'existir una connexió entre ambdós sistemes.

En aquest treball concret, el fenomen complex que van escollir per a analitzar la seva idea va ser la generació d'alts harmònics. Allà, els electrons lligats a l'àtom travessen per efecte túnel la barrera formada pel potencial atòmic de Coulomb i el camp elèctric d'un laser. Després, aquests electrons lliures s'acceleren, provocant l'emissió de radiació de freqüència harmònica característica quan es recombinen amb els ions originals. Aquest és l'espectre d'emissió de la HHG que els investigadors volien recuperar.

D'altra banda, la connexió a un sistema quàntic molt més simple es va obtenir reemplaçant convenientment certs components. En lloc d'un electro i un potencial nuclear, van proposar treballar amb un gas atòmic que quedava atrapat per un raig laser; i en lloc de la llum entrant i el seu camp elèctric, van suggerir l'aplicació d'un gradient magnètic extern que podria sintonitzar-se a voluntat. Les imatges d'absorció d'aquest sistema dissenyat artificialment

coincideixen amb la producció d'emissió desitjada

Per tant, captant imatges d'absorció del simulador analògic, es pot estudiar indirectament l'espectre d'emissió de la generació atòmica d'altos harmonics

Una nova plataforma per a la simulació ultrarràpida

Al final, el grup de recerca ha aplanat el camí per demostrar el potencial del seu mètode alternatiu a l'hora d'abordar sistemes complexos que altrament només es podrien aproximar teòricament. Es va demostrar que els simuladors analògics actuals podien recuperar l'espectre d'emissió de l'HHG, es va establir una correspondència entre els paràmetres experimentals i simulats i fins i tot es va proporcionar un anàlisi experimental exhaustiu.

A més, la plataforma té un avantatge doble. En primer lloc, els elements que emulen el camp entrant i el potencial nuclear es poden sintonitzar fàcilment. I en segon lloc, la simulació també proporciona una ampliació temporal. Això implica un alt nivell d'accessibilitat, ja que es pot evitar l'escala de temps d'attosegons, cosa que permet als científics treballar en un marc molt més lent (i, per tant, pràctic).

L'equip destaca la capacitat d'adaptabilitat del seu enfocament, que no es limita exclusivament a simular l'HHG, sinó que es podrien estendre a altres configuracions més exòtiques. En particular, la simulació de processos ultrarràpids, com la dinàmica multielectronica o la reacció de la matèria a la llum no clàssica, són els que podrien beneficiar-se'n més.

P.S. acknowledges funding from the European Union's Horizon H2020 under the Marie Skłodowska-Curie grant agreements No 847517.