

Image not found

## Fisics demostren l'expansió controlada del paquet d'ones quàntic d'una nanopartícula levitada

Els efectes de la mecànica quàntica, com la dualitat ona-partícula, solen manifestar-se a l'escala dels fotons, electrons i àtoms. Tanmateix, els científics volen trobar maneres d'estendre aquests fenòmens contraintuïtius a sistemes més grans, com ara molècules de gran mida, nanopartícules i, en última instància, objectes macroscòpics.

En un article recentment publicat a *Physical Review Letters*, investigadors de l'ETH de Zúric i de l'ICFO han proposat i implementat una tècnica per augmentar la distància en que el comportament ondulatori d'una nanopartícula levitada òpticament es manté ben definit. Amb aquest avenç, estem un pas més a prop de portar objectes veritablement macroscòpics al règim quàntic.

September 25, 2025

---

La teoria de la mecànica quàntica prediu que, a més de mostrar un comportament semblant al dels corpuscles, partícules de totes les mides també poden presentar propietats ondulatories. Aquestes propietats es poden representar mitjançant la funció d'ona, una descripció matemàtica dels sistemes quàntics que delimita els moviments d'una partícula i la probabilitat que es trobi en una posició específica.

Tot i que els físics han aconseguit preparar les funcions d'ona de moltes partícules petites, preparar les de partícules més grans és un gran repte. Això es deu principalment al fet que, en partícules de mida més gran, el comportament ondulatori és més susceptible de ser destruït per interaccions no desitjades que no pas el seu comportament clàssic, semblant al de les partícules.

Els investigadors de l'ETH de Zúric i de l'ICFO, el **Dr. Andreu Riera-Campeny** i el **Prof. ICREA a l'ICFO Oriol Romero-Isart**, van presentar recentment un nou mètode que podria ajudar a delinear la funció d'ona de partícules de mida més gran. L'enfocament proposat, descrit en un article publicat a *Physical Review Letters*, es basa en una tècnica coneguda com a

compressio quantica (quantum squeezing). Amb ella, van poder augmentar la longitud de coherencia, que es la distancia al llarg de la qual el comportament ondulatori d'una nanoparticula levitada opticament es mante ben definit.

"Una de les demostracions mes belles de la fisica quantica es la interferencia d'ones de materia", va comentar a Phys.org Massimiliano Rossi, primer autor de l'article. "Aquest fenomen mostra que els objectes massius, que normalment esperariem que es comportessin com a particules, tambe poden comportar-se com a ones, com les de l'aigua. En teoria, aquest comportament ondulatori no nomes s'aplica als atoms, sino tambe a objectes molt mes grans i ordinaris".

"Les nanoparticules en son un exemple perfecte", continua. "Estan per tot arreu a la natura, tenen una mida similar a la dels virus, i les solem considerar com petites particules de pols. Pero si n'agafes una de sola, l'ailles extremadament be del seu entorn i controles el seu moviment, la mecanica quantica prediu que tambe hauria de produir-se una interferencia". Multiples grups de recerca especialitzats en la levitacio optomecanica de particules han intentat portar aquesta idea a la practica experimental durant anys. Fins ara, pero, l'observacio d'interferencia en nanoparticules individuals ha resultat dificil d'assolir.

"Una dels fites clau aconseguida fa uns anys va ser refredar una nanoparticula fins al seu estat fonamental quantic, cosa que significa situar-la en un paquet d'ones ben definit de moviment", explica Rossi. "El problema es que aquest paquet d'ones es molt estret, de nomes uns quants picometres d'ample. Per observar interferencia, necessitaries una reixa de difraccio d'aquestes mateixes diminutes dimensions, la qual cosa es dificil, o fins i tot impossible, de construir. D'aqui va sorgir la idea darrere d'aquest estudi: en lloc de fabricar una reixa mes petita, per que no fer mes gran el paquet d'ones?"

### **Com allargar el paquet d'ones d'una nanoparticula**

L'objectiu principal de l'estudi va ser intentar augmentar el paquet d'ones quantic del moviment d'una nanoparticula. Si l'equip aconseguis expandir prou aquest paquet d'ones, es podria obrir la porta a experiments d'interferencia amb nanoparticules levitades opticament. "El principi basic es senzill i prove directament dels llibres de text", comenta Rossi. "En un potencial harmonic, com el d'unes pinces optiques, un paquet d'ones gaussia roman fortament confinat (uns 10 pm en el nostre cas). Pero si s'elimina de cop el potencial, hi ha deslocalitzacio: el paquet d'ones s'expandeix amb el temps, augmentant la seva mida'. Per descomptat, en la practica no podem simplement apagar la trampa, porque aleshores la nanoparticula cauria".

Per superar aquest repte, Rossi i els seus companys van afeblir temporalment la trampa optica que utilitzaven. En fer-ho, van observar que el paquet d'ones de la particula s'expandia inicialment, pero despres era comprimit de nou per la trampa, recuperant la seva mida original.

"El truc es fer que la trampa torni a ser forta abans que això passi", assenyala Rossi.

"D'aquesta manera, el paquet d'ones conserva la seva mida expandida, donant-nos una major deslocalització. Amb aquest mètode, vam aconseguir augmentar la deslocalització de la nanopartícula fins a 70 pm, més del doble de la longitud de coherència de l'estat fonamental. En termes absoluts, això encara és massa petit per a experiments de difracció, però demostra que la idea funciona".

Amb el seu mètode, els investigadors van aconseguir superar l'estret límit de l'estat fonamental reportat en experiments anteriors i ampliar activament el paquet d'ones quàntic d'una nanopartícula de manera controlada. En principi, el seu enfocament també es podria escalar, cosa que en última instància permetria fer experiments d'interferència amb objectes massius.

"Si repetim el procés amb múltiples polsos, la deslocalització pot créixer exponencialment, sempre que la decoherència es mantingui baixa", va dir Rossi. "Això fa realista arribar algun dia a longituds de coherència comparables a la pròpia mida de la nanopartícula. Aconseguir-ho seria un gran pas cap a la interferència d'ones de matèria amb objectes massius".

El treball recent de Rossi i els seus col·legues podria inspirar aviat altres físics a idea enfocaments similars per aconseguir la deslocalització quàntica de partícules levitades. Com a part dels seus propers estudis, els investigadors esperen desenvolupar estratègies eficaces per suprimir la decoherència en el sistema òptic que van utilitzar

"En aquest moment, la principal font de decoherència prové dels fotons dispersats per les pinces òptiques", va afegir Rossi. "Per superar això, al nostre grup estem desenvolupant un enfocament híbrid de levitació: combinarem les pinces òptiques amb una trampa d'quadropol elèctric, semblant a les utilitzades per a ions"

Aquest tipus de trampes poden proporcionar confinament amb taxes de decoherència extremadament baixes, molt menors del que és possible únicament amb pinces òptiques. Això permetria augmentar encara més la deslocalització, amb l'objectiu final d'assolir l'interferència quàntica amb objectes veritablement macroscòpics

--

This article was originally published on Phys.org by Ingrid Fadelli and appears here as an authorized reprint; read the original at <https://phys.org/news/2025-09-physicists-expansion-quantum-wavepacket-levitated.html>

**Referència:**

M. Rossi et al, Quantum Delocalization of a Levitated Nanoparticle, Physical Review Letters (2025). DOI: [10.1103/2yzc-fsm3](https://doi.org/10.1103/2yzc-fsm3).