



Fisics demostren l'expansió controlada del paquet d'ones quantic 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 mecanica quantica prediu que, a mes 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 Zuric i de l'ICFO, el **Dr. Andreu Riera-Campenya** 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 compressió quàntica (*quantum squeezing*). Amb ella, van poder augmentar la longitud de coherència, que és la distància al llarg de la qual el comportament ondulatori d'una nanopartícula levitada òpticament es manté ben definit.

"Una de les demostracions més belles de la física quàntica és la interferència d'ones de matèria", va comentar a *Phys.org* Massimiliano Rossi, primer autor de l'article. "Aquest fenomen mostra que els objectes massius, que normalment esperàriem que es comportessin com a partícules, també poden comportar-se com a ones, com les de l'aigua. En teoria, aquest comportament ondulatori no només s'aplica als àtoms, sinó també a objectes molt més grans i ordinaris".

"Les nanopartícules en són 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 partícules de pols. Però si n'agafes una de sola, l'aïlles extremadament bé del seu entorn i controles el seu moviment, la mecanica quàntica prediu que també hauria de produir-se una interferència".

Múltiples grups de recerca especialitzats en la levitació optomecànica de partícules han intentat portar aquesta idea a la pràctica experimental durant anys. Fins ara, però, l'observació d'interferència en nanopartícules individuals ha resultat difícil d'assolir.

"Una dels fites clau aconseguida fa uns anys va ser refredar una nanopartícula fins al seu estat fonamental quàntic, cosa que significa situar-la en un paquet d'ones ben definit de moviment", explica Rossi. "El problema és que aquest paquet d'ones és molt estret, de només uns quants picòmetres d'ample. Per observar interferència, necessàries una reixa de difracció d'aquestes mateixes diminutes dimensions, la qual cosa és difícil, o fins i tot impossible, de construir. D'aquí 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 aconseguís 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 deslocalitzacio. Amb aquest metode, vam aconseguir augmentar la deslocalitzacio de la nanoparticula fins a 70 pm, mes del doble de la longitud de coherencia de l'estat fonamental. En termes absoluts, això encara es massa petit per a experiments de difraccio, pero demostra que la idea funciona".

Amb el seu metode, els investigadors van aconseguir superar l'estret limit de l'estat fonamental reportat en experiments anteriors i ampliar activament el paquet d'ones quantic d'una nanoparticula de manera controlada. En principi, el seu enfocament també es podria escalar, cosa que en ultima instancia permetria fer experiments d'interferencia amb objectes massius.

"Si repetim el proces amb multiples polsos, la deslocalitzacio pot creixer exponencialment, sempre que la decoherencia es mantingui baixa", va dir Rossi. "Això fa realista arribar algun dia a longituds de coherencia comparables a la propia mida de la nanoparticula.

Aconseguir-ho seria un gran pas cap a la interferencia d'ones de materia amb objectes massius".

El treball recent de Rossi i els seus col·legues podria inspirar aviat altres fisics a idea enfocaments similars per aconseguir la deslocalitzacio quantica de particules levitades. Co a part dels seus propers estudis, els investigadors esperen desenvolupar estrategies eficaces per suprimir la decoherencia en el sistema optic que van utilitzar

"En aquest moment, la principal font de decoherencia prove dels fotons dispersats per le pinces optiques", va afegir Rossi. "Per superar això, al nostre grup estem desenvolupant u enfocament hibrid de levitacio: combinarem les pinces optiques amb una trampa d

quadrupol electric, semblant a les utilitzades per a ions"

Aquest tipus de trampes poden proporcionar confinament amb taxes de decoherenci extremadament baixes, molt menors del que es possible unicament amb pinces optiques 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 a authorized reprint; read the original at

<https://phys.org/news/2025-09-physicists-expansion-quantum-wavepacket-levitated.html>

Referencia:

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).