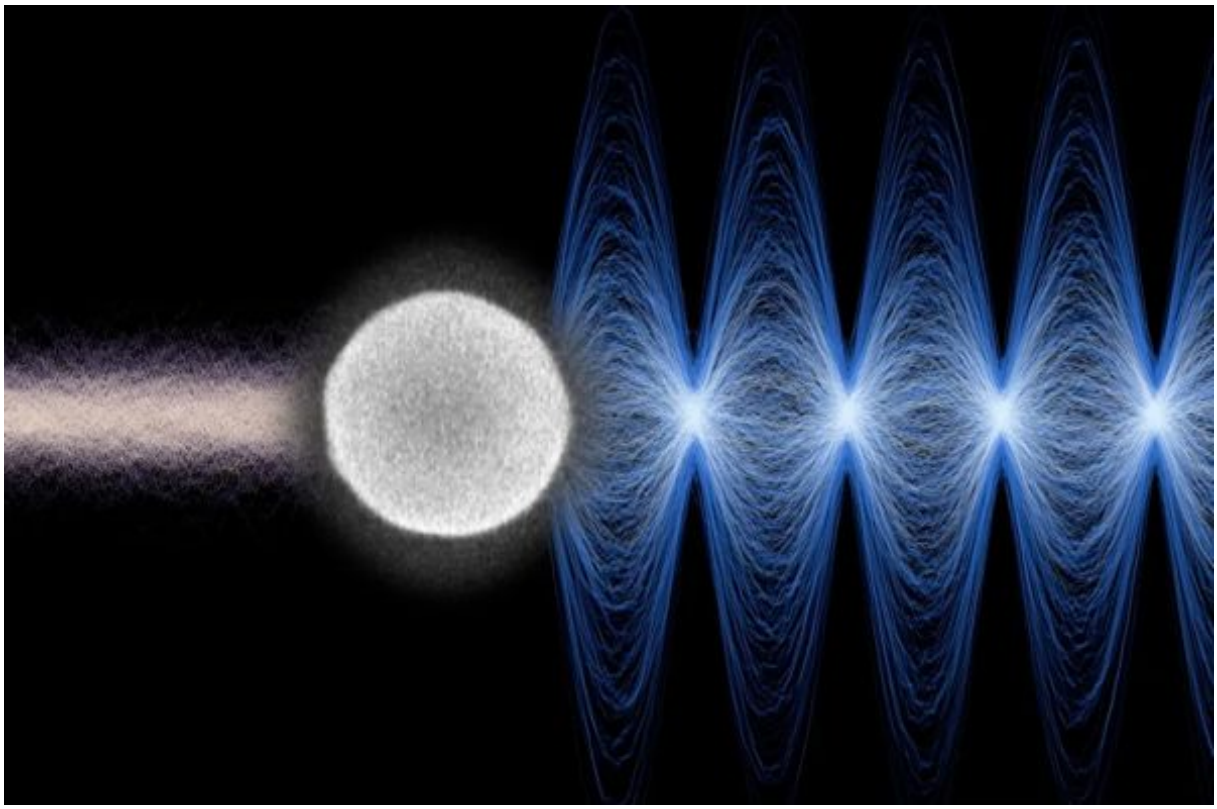


Fisics demostren l?expansio controlada del paquet d?ones quantic d?una nanoparticula levitada

Els efectes de la mecanica quantica, com la dualitat ona-particula, solen manifestar-se a l'escala dels fotons, electrons i atoms. Tanmateix, els cientifics volen trobar maneres d'estendre aquests fenomens contraintuitius a sistemes mes grans, com ara molecules de gran mida, nanoparticules i, en ultima instancia, objectes macroscopics.

En un article recentment publicat a Physical Review Letters, investigadors de l'ETH de Zuric i de l'ICFO han proposat i implementat una tecnica per augmentar la distancia en que el comportament ondulatori d'una nanoparticula levitada opticament es mante ben definit. Amb aquest avenc, estem un pas mes a prop de portar objectes veritablement macroscopics al regim quantic.

September 25, 2025

La teoria de la mecanica quantica prediu que, a mes de mostrar un comportament semblant al dels corpuscles, particules de totes les mides tambe poden presentar propietats ondulatories. Aquestes propietats es poden representar mitjancant la funcio d'ona, una descripcio matematica dels sistemes quantics que delimita els moviments d'una particula i la probabilitat que es trobi en una posicio especifica.

Tot i que els fisics han aconseguit preparar les funcions d'ona de moltes particules petites, preparar les de particules mes grans es un gran repte. Aixo es deu principalment al fet que, en particules de mida mes gran, el comportament ondulatori es mes susceptible de ser destruit per interaccions no desitjades que no pas el seu comportament classic, semblant al de les particules.

Els investigadors de l'ETH de Zuric i de l'ICFO, el **Dr. Andreu Riera-Campeny** i el **Prof. ICREA a l'ICFO Oriol Romero-Isart**, van presentar recentment un nou metode que podria ajudar a delinear la funcio d'ona de particules de mida mes gran. L'enfocament proposat, descrit en un article publicat a Physical Review Letters, es basa en una tecnica 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, perque 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 aixo 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, aixo 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 tambe 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. "Aixo 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 eficace 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 aixo, 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 Aixo permetria augmentar encara mes la deslocalitzacio, amb l'objectiu final d'assolir l interferencia quantica amb objectes veritablement macroscopics

--

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.