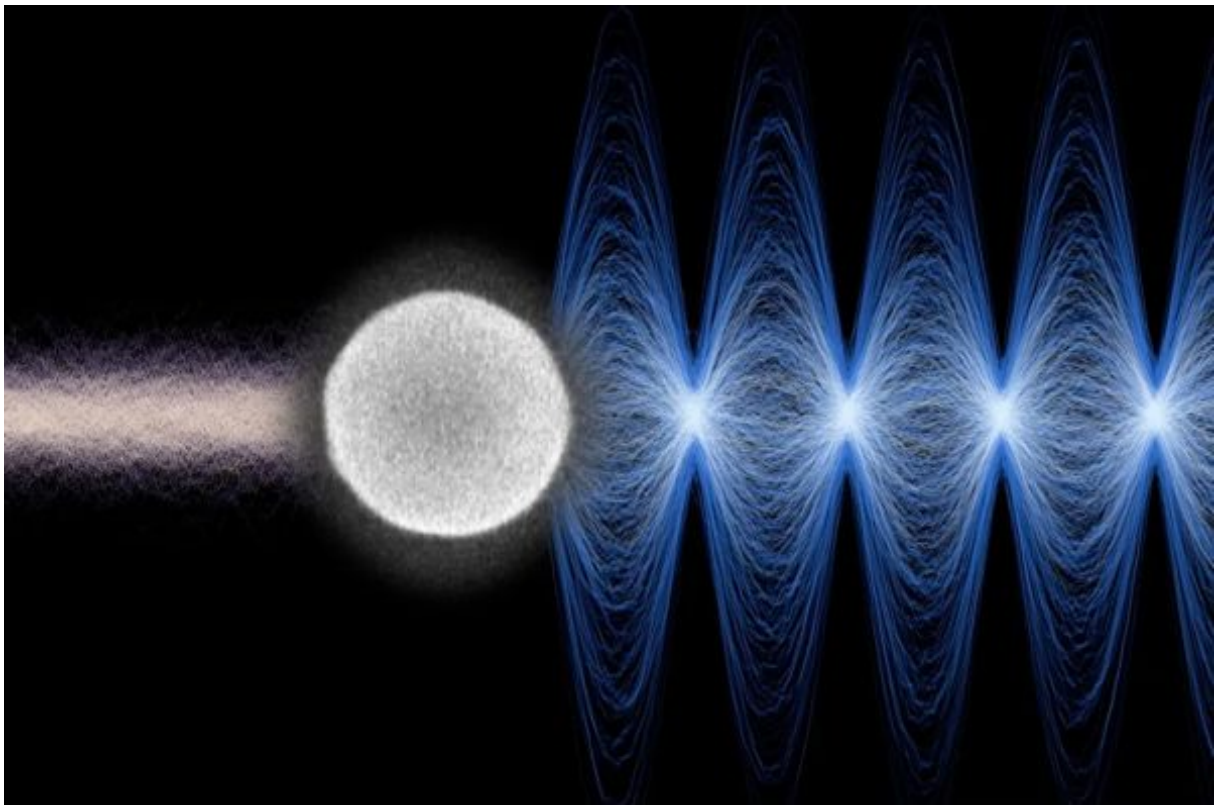


Fisicos demuestran la expansion controlada del paquete de ondas cuantico de una nanoparticula levitada

Los efectos de la mecanica cuantica, como la dualidad onda-particula, suelen manifestarse a la escala de los fotones, electrones y atomos. Sin embargo, los cientificos quieren encontrar maneras de extender estos fenomenos contraintuitivos a sistemas mas grandes, como moleculas de gran tamano, nanoparticulas y, en ultima instancia, objetos macroscopicos. En un articulo recientemente publicado en Physical Review Letters , investigadores de la ETH de Zurich y del ICFO han propuesto e implementado una tecnica para aumentar la distancia donde el comportamiento ondulatorio de una nanoparticula levitada opticamente se mantiene bien definido. Este avance abre la puerta a llevar objetos verdaderamente macroscopicos al regimen cuantico.

September 25, 2025

La teoria de la mecanica cuantica predice que, ademas de exhibir un comportamiento similar al de los corpusculos, particulas de todos los tamanos tambien pueden presentar propiedades ondulatorias. Estas propiedades pueden representarse mediante la funcion de onda, una descripcion matematica de los sistemas cuanticos que delimita los movimientos de una particula y la probabilidad de que se encuentre en una posicion especifica.
Si bien los fisicos han logrado preparar las funciones de onda de muchas particulas pequenas, preparar las de particulas mas grandes es un gran desafio. Esto se debe principalmente a que, en particulas de mayor tamano, el comportamiento ondulatorio es mas susceptible de ser destruido por interacciones no intencionadas que su comportamiento clasico, similar al de particulas.
Los investigadores de la ETH de Zurich y del ICFO, el **Dr. Andreu Riera-Campeny** y el **Prof. ICREA en el ICFO Oriol Romero-Isart**, presentaron recientemente un nuevo metodo que podria ayudar a delinear la funcion de onda de particulas de mayor tamano. El enfoque propuesto, descrito en un articulo publicado en Physical Review Letters, se basa en una tecnica conocida como compresion cuantica (quantum squeezing). Con ella, pudieron aumentar la longitud de coherencia, que es la distancia a lo largo de la cual el comportamiento ondulatorio de una nanoparticula levitada opticamente se mantiene bien definido.
"Una de las demostraciones mas bellas de la fisica cuantica es la interferencia de ondas de materia", comento a Phys.org Massimiliano Rossi, primer autor del articulo. "Este fenomeno muestra que los objetos masivos, que normalmente esperariamos que se comportaran como particulas, tambien pueden comportarse como ondas, como las del agua. En teoria, este comportamiento ondulatorio no solo se aplica a los atomos, sino tambien a objetos mucho mas grandes y ordinariosi¿?
. i¿½Las nanoparticulas son un ejemplo perfectoi¿½, continua. i¿½Estan en todas part
s en la naturaleza, son de tamano similar al de los virus, y solemos considerarlas como d
minutas motas de polvo. Pero si tomas una sola nanoparticula, la aislas extremadamente bi
n de su entorno y controlas su movimiento, la mecanica cuantica predice que tambien deberia mostrar interfe
encia". Multiples grupos de investigacion especializados en la levitacion optomecanica de pa
ticulas han intentado llevar esta idea a la practica experimental durante anos. Hasta ah
ra, sin embargo, la observacion de interferencia en nanoparticulas individuales ha resultado dificil de co
seguir. "Un hito clave alcanzado hace unos anos fue enfriar una nanoparticula hasta s
estado fundamental cuantico, lo que significa situarla en un paquete de ondas bien def
nido de movimiento", dijo Rossi. "El problema es que este paquete de ondas es muy estrecho, de solo unos pocos picometros de ancho. Para observar interferencia, necesitarias una re
illa de difraccion de esas mismas diminutas dimensiones, lo cual es dificil, si no impos
ble, de construir. De ahi surgio la idea detras de este trabajo: en lugar de fabricar una rej

lla mas pequena, ¿por que no hacer mas grande el paquete d

Como alargar el paquete de ondas de una nanoparticula

El objetivo principal del estudio reciente del equipo fue intentar aumentar el paquete de ondas cuantico del movimiento de una nanoparticula. Si lograban expandir suficientemente este paquete de ondas, podrian abrir la puerta a experimentos de interferencia con nanoparticulas levitadas opticamente.

"El principio basico es sencillo y proviene directamente de los libros de texto", explico Rossi. "En un potencial armonico, como el de unas pinzas opticas, un paquete de ondas gaussiano permanece fuertemente confinado (unos 10 pm en nuestro caso). Pero si se elimina de golpe el potencial, ocurre una deslocalizacion: el paquete de ondas se expande con el tiempo, aumentando su ?tamano'. Por supuesto, en la practica no podemos simplemente apagar la trampa, porque entonces la nanoparticula caeria".

Para superar este desafio, Rossi y sus colegas debilitaron temporalmente la trampa optica que utilizaban. Al hacerlo, observaron que el paquete de ondas de la particula se expandia inicialmente, pero luego era comprimido de nuevo por la trampa, recuperando su tamano original.

"El truco esta en volver a la trampa fuerte antes de que eso ocurra", senalo Rossi. "De este modo, el paquete de ondas conserva su tamano expandido, dandonos una mayor deslocalizacion. Con este metodo, logramos aumentar la deslocalizacion de la nanoparticula hasta 70 pm, mas del doble de la longitud de coherencia del estado fundamental. En terminos absolutos, esto sigue siendo demasiado pequeno para experimentos de difraccion, pero demuestra que la idea funciona".

Con su metodo, los investigadores lograron superar el estrecho limite del estado fundamental reportado en experimentos anteriores y ampliar activamente el paquete de ondas cuantico de una nanoparticula de manera controlada. En principio, su enfoque tambien se podria escalar, lo que en ultima instancia permitiria realizar experimentos de interferencia con objetos masivos.

"Si repetimos el proceso con multiples pulsos, la deslocalizacion puede crecer exponencialmente, siempre que la decoherencia se mantenga baja", dijo Rossi. "Eso hace realista llegar algun dia a longitudes de coherencia comparables al propio tamano de la nanoparticula. Alcanzar eso seria un gran paso hacia la interferencia de ondas de materia con objetos masivos".

El trabajo reciente de Rossi y sus colegas podria inspirar pronto a otros fisicos a idear enfoques similares para lograr la deslocalizacion cuantica de particulas levitadas. Como parte de sus proximos estudios, los investigadores esperan desarrollar estrategias eficaces para suprimir la decoherencia en el sistema optico que utilizaron.

"En este momento, la principal fuente de decoherencia proviene de los fotones dispersados por las pinzas opticas", anadio Rossi. "Para superar esto, en nuestro grupo estamos

desarrollando un enfoque hibrido de levitacion: combinaremos las pinzas opticas con una trampa de cuadrupolo electrico, similar a las utilizadas para iones.i¿
? Este tipo de trampas pueden proporcionar confinamiento con tasas de decoherenc
a extremadamente bajas, mucho menores de lo que es posible con pinzas opticas unicament
. Esto permitiria aumentar aun mas la deslocalizacion, con el objetivo final de alcanzar
a interferencia cuantica con objetos verdaderamente macroscopico

-

- This article was originally published on Phys.org by Ingrid Fadelli and appears here as
n 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.