



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

Los efectos de la mecánica cuántica, como la dualidad onda-partícula, suelen manifestarse a la escala de los fotones, electrones y átomos. Sin embargo, los científicos quieren encontrar maneras de extender estos fenómenos contraintuitivos a sistemas más grandes, como moléculas de gran tamaño, nanopartículas y, en última instancia, objetos macroscópicos. En un artículo recientemente publicado en *Physical Review Letters*, investigadores de la ETH de Zurich y del ICFO han propuesto e implementado una técnica para aumentar la distancia donde el comportamiento ondulatorio de una nanopartícula levitada ópticamente se mantiene bien definido. Este avance abre la puerta a llevar objetos verdaderamente macroscópicos al régimen cuántico.

La teoría de la mecánica cuántica predice que, además de exhibir un comportamiento similar al de los corpusculos, partículas de todos los tamaños también pueden presentar propiedades ondulatorias. Estas propiedades pueden representarse mediante la función de onda, una descripción matemática de los sistemas cuánticos que delimita los movimientos de una partícula y la probabilidad de que se encuentre en una posición específica. Si bien los físicos han logrado preparar las funciones de onda de muchas partículas pequeñas, preparar las de partículas más grandes es un gran desafío. Esto se debe principalmente a que, en partículas de mayor tamaño, el comportamiento ondulatorio es más susceptible de ser destruido por interacciones no intencionadas que su comportamiento clásico, similar al de partículas.

Los investigadores de la ETH de Zurich y del ICFO, el **Dr. Andreu Riera-Campen**y y el **Prof. ICREA en el ICFO Oriol Romero-Isart**, presentaron recientemente un nuevo método que podría ayudar a delinear la función de onda de partículas de mayor tamaño. El enfoque propuesto, descrito en un artículo publicado en *Physical Review Letters*, se basa en una técnica conocida como compresión cuántica (*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 nanopartícula levitada ópticamente se mantiene bien definido.

"Una de las demostraciones más bellas de la física cuántica es la interferencia de ondas de materia", comentó a *Phys.org* Massimiliano Rossi, primer autor del artículo. "Este fenómeno muestra que los objetos masivos, que normalmente esperaríamos que se comportaran como partículas, también pueden comportarse como ondas, como las del agua. En teoría, este comportamiento ondulatorio no solo se aplica a los átomos, sino también a objetos mucho más grandes y ordinarios¿?"

¿Las nanopartículas son un ejemplo perfecto¿, continúa. ¿Están en todas partes en la naturaleza, son de tamaño similar al de los virus, y solemos considerarlas como diminutas motas de polvo. Pero si tomas una sola nanopartícula, la aislas extremadamente bien de su entorno y controlas su movimiento, la mecánica cuántica predice que también debería mostrar interferencia". Múltiples grupos de investigación especializados en la levitación optomecánica de partículas han intentado llevar esta idea a la práctica experimental durante años. Hasta ahora, sin embargo, la observación de interferencia en nanopartículas individuales ha resultado difícil de conseguir. "Un hito clave alcanzado hace unos años fue enfriar una nanopartícula hasta su estado fundamental cuántico, lo que significa situarla en un paquete de ondas bien definido de movimiento", dijo Rossi. "El problema es que este paquete de ondas es muy estrecho, de solo unos pocos picómetros de ancho. Para observar interferencia, necesitarías una rejilla de difracción de esas mismas diminutas dimensiones, lo cual es difícil, si no imposible, de construir. De ahí surgió la idea detrás de este trabajo: en lugar de fabricar una rejilla de difracción, se fabricó una estructura que actúa como una rejilla de difracción virtual, permitiendo observar interferencia en nanopartículas individuales".

la más pequeña, ¿por qué no hacer más grande el paquete de

Como alargar el paquete de ondas de una nanopartícula

El objetivo principal del estudio reciente del equipo fue intentar aumentar el paquete de ondas cuántico del movimiento de una nanopartícula. Si lograban expandir suficientemente este paquete de ondas, podrían abrir la puerta a experimentos de interferencia con nanopartículas levitadas ópticamente.

"El principio básico es sencillo y proviene directamente de los libros de texto", explicó Rossi. "En un potencial armónico, como el de unas pinzas ópticas, un paquete de ondas gaussiano permanece fuertemente confinado (unos 10 pm en nuestro caso). Pero si se elimina de golpe el potencial, ocurre una deslocalización: el paquete de ondas se expande con el tiempo, aumentando su 'tamaño'. Por supuesto, en la práctica no podemos simplemente apagar la trampa, porque entonces la nanopartícula caería".

Para superar este desafío, Rossi y sus colegas debilitaron temporalmente la trampa óptica que utilizaban. Al hacerlo, observaron que el paquete de ondas de la partícula se expandía inicialmente, pero luego era comprimido de nuevo por la trampa, recuperando su tamaño original.

"El truco está en volver a la trampa fuerte antes de que eso ocurra", señaló Rossi. "De este modo, el paquete de ondas conserva su tamaño expandido, dándonos una mayor deslocalización. Con este método, logramos aumentar la deslocalización de la nanopartícula hasta 70 pm, más del doble de la longitud de coherencia del estado fundamental. En términos absolutos, esto sigue siendo demasiado pequeño para experimentos de difracción, pero demuestra que la idea funciona".

Con su método, los investigadores lograron superar el estrecho límite del estado fundamental reportado en experimentos anteriores y ampliar activamente el paquete de ondas cuántico de una nanopartícula de manera controlada. En principio, su enfoque también se podría escalar, lo que en última instancia permitiría realizar experimentos de interferencia con objetos masivos.

"Si repetimos el proceso con múltiples pulsos, la deslocalización puede crecer exponencialmente, siempre que la decoherencia se mantenga baja", dijo Rossi. "Eso hace realista llegar algún día a longitudes de coherencia comparables al propio tamaño de la nanopartícula. Alcanzar eso sería un gran paso hacia la interferencia de ondas de materia con objetos masivos".

El trabajo reciente de Rossi y sus colegas podría inspirar pronto a otros físicos a idear enfoques similares para lograr la deslocalización cuántica de partículas levitadas. Como parte de sus próximos estudios, los investigadores esperan desarrollar estrategias eficaces para suprimir la decoherencia en el sistema óptico que utilizaron.

"En este momento, la principal fuente de decoherencia proviene de los fotones dispersados por las pinzas ópticas", añadió 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 decoherencia extremadamente bajas, mucho menores de lo que es posible con pinzas opticas unicamente . 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 an 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).