

Remolinos de luz

Una nueva técnica modifica el frente de onda de los haces luminosos para manipular objetos microscópicos y transmitir más información

PUBLICADO EN SEPTIEMBRE

Las figuras geométricas proyectadas por un haz de luz láser en el laboratorio del físico Cid Bartolomeu de Araújo, en la Universidad Federal de Pernambuco (UFPE) pueden parecer un truco banal. Sin embargo, esos dibujos lumínicos que miden tan sólo algunos micrones de longitud no se crean con una luz común. Se trata de verdaderos remolinos de luz, conocidos con el nombre de vórtices ópticos. Al incidir sobre un objeto microscópico —una grano de polvo o una célula viva—, dichos vórtices hacen que el objeto se mueva y recorra sin cesar el contorno de la figura proyectada.

Quizá parezca trivial, pero las aplicaciones tecnológicas de los vórtices ópticos son diversas. Utilizados en experimentos de física y de biología para manipular la materia a nivel submicroscópico, estos torbellinos prometen aumentar cientos de veces el volumen de información transmitida a través de fibra óptica. También pueden servir como base para una nueva generación de circuitos optoelectrónicos con dimensiones nanométricas. Una ventaja de la técnica desarrollada por un trío de físicos de la UFPE consiste en que otorga libertad a los investigadores e ingenieros para moldear los remolinos ópticos en la forma necesaria para sus aplicaciones.

Las técnicas de creación de vórtices ópticos comenzaron a desarrollarse a comienzos de los años 1990 en el seno del grupo de los físicos Les Allen y Han

Woerdman, de la Universidad de Leiden, en Holanda, para producir vórtices que forman circuitos con geometría circular. Se han obtenido vórtices con otras geometrías, pero se generaban empleando técnicas más complicadas o que sólo permitían dibujar algunos tipos específicos de contornos. “Descubrimos un modo de obtener cualquier forma con el mismo montaje experimental utilizado para generar los vórtices circulares”, explica el físico Anderson Amaral, primer autor del artículo que describió el descubrimiento, que se publicó en mayo de este año en la revista *Optics Letters*.

UN SACACORCHOS

Para producir un vórtice óptico, los investigadores disparan un haz de luz láser convencional hacia una pantalla de cristal líquido. Antes de alcanzar la pantalla, la onda de luz del láser se propaga como una secuencia de frentes planos. Al penetrar en el cristal líquido, los frentes de la onda se reflejan según un modelo geométrico formado por bandas claras y oscuras, generado por el reordenamiento de las moléculas del cristal líquido controlado por una computadora. Las zonas oscuras reflejan la luz instantáneamente. En tanto, las bandas claras retrasan la reflexión. De esta manera, el patrón geométrico retrasa ciertas porciones de los frentes de la onda lumínica y confiere a sus superficies, antes planas, un formato retorcido como el de un sacacorchos (*obsérvese la figura de al lado*).

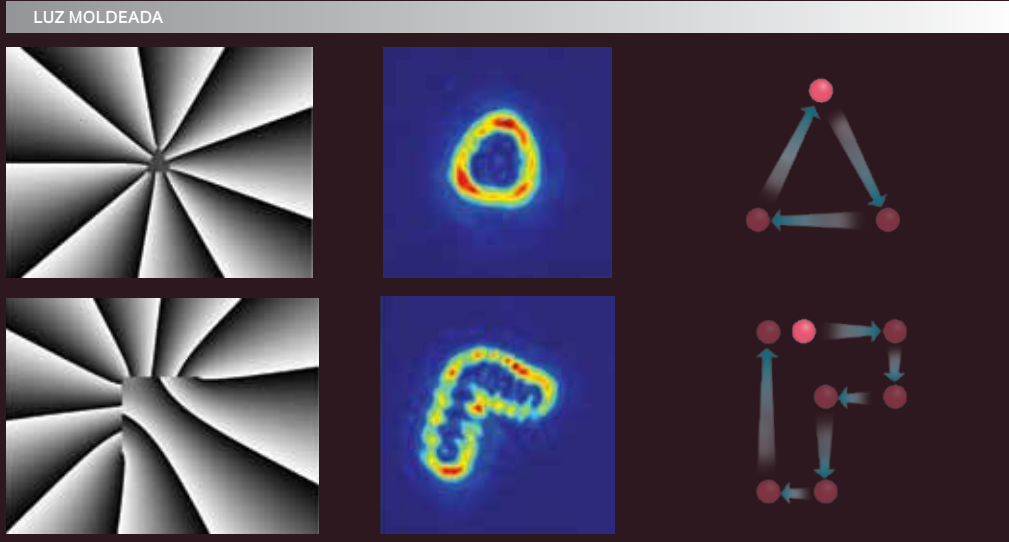
Cuando el haz de luz espiralado se proyecta sobre una superficie plana, en lugar de un punto luminoso, se observa un anillo de luz. La torsión de las ondas anula su intensidad en el eje del haz generando un área oscura en su centro. Simultáneamente, el anillo lumínico resultante adquiere la propiedad de movilizar partículas o pequeños objetos sensibles a la sutil fuerza de la luz. Así, las partículas alcanzadas por el haz pasan a recorrer el circuito formado por el anillo. Cuanto más helicoidal es la luz —es decir, cuanto menor es el espacio existente entre las vueltas de la onda en forma de sacacorchos, determinada por el número de bandas oscuras y claras en la pantalla de cristal líquido—, más velozmente giran las partículas.

Amaral comenzó a investigar las maneras de controlar la torsión de la luz el año pasado, cuando inició el doctorado bajo la dirección de Araújo y del físico Edilson Falcão Filho, también de la UFPE. Y pretende utilizar los vórtices ópticos para manipular los electrones de un metal. Actualmente, los circuitos electrónicos no pueden tener un tamaño menor que algunos micrones (milésimas de milímetro). Pero muchos científicos trabajan para desarrollar circuitos hasta mil veces menores, que funcionarían basados en oscilaciones nanométricas de los electrones—son los denominados plasmones—, creados y controlados por haces de luz especiales, como son los vórtices ópticos.

La iniciativa de los físicos de Pernambuco consistió en sacar provecho de una

Un espejo dinámico

Modelos generados en pantallas de cristal líquido modulan haces de luz y los tornan capaces de mover pequeños objetos



Una parte de las ondas planas (1) sufre atraso al ser reflejada por las bandas claras en la pantalla de cristal líquido (2). De este modo, las ondas reflejadas adquieren la forma helicoidal de un sacacorchos (3). La onda en espiral lleva a que partículas microscópicas giren y recorran un circuito (4). Los físicos brasileños descubrieron un nuevo modo de alterar el patrón de sombras del cristal y controlar el haz de luz y la trayectoria de las partículas

propiedad de los vórtices ópticos denominada carga topológica. Grosso modo, esa carga es un número que determina cuántas son las vueltas del “sacacorchos” lumínico. “Todo el mundo se refiere a esa cantidad, llamándola carga topológica, pero nadie suele hablar de las propiedades topológicas [de la geometría] de ella”, dice Amaral. Los matemáticos consideran que dos figuras geométricas poseen una misma topología si una de ellas puede moldearse en la forma de la otra sin necesidad de separar o unir sus puntos. De este modo, una esfera puede transformarse en un cubo. Y una taza puede generar una rosquilla y viceversa. Del mismo modo, los investigadores notaron que podría modificarse la forma de los vórtices de luz sin modificar su topología. Dicho de otra manera, el anillo lumínico podría asumir formatos diferentes –por ejemplo, el de la letra L– y mantener su capacidad de transmitir su giro a una partícula cualquiera.

CÍRCULOS Y TRIÁNGULOS

La novedad de la técnica desarrollada por el equipo de Araújo consiste en moldear el anillo de los vórtices alterando el formato en la porción central de la matriz negra y blanca de la pantalla de cristal líquido. En el artículo en la *Optics Letters*, demostraron la técnica generando vórtices en forma de L, de círculos oblongos y de triángulos. “Estamos extendiendo la técnica para crear formas más complejas”, dice Araújo.

“Es un abordaje muy eficiente para modelar vórtices ópticos”, dice el físico Johannes Courtial, del grupo de Miles Padgett, de la Universidad de Glasgow, en Escocia, uno de los más importantes grupos de estudio de vórtices ópticos del mundo. Courtial considera interesante que la porción oscura central del vórtice funciona como una especie de molde de la parte luminosa del mismo.

Aunque se encuentra abocado a la aplicación de los vórtices en los circuitos

de plasmones, el grupo de la UFPE cree que la técnica también puede ser útil para las telecomunicaciones. Las fibras ópticas actuales transportan mensajes simultáneamente por medio de haces de láser con longitudes de onda diferentes que viajan juntos por el interior de las mismas. El límite del flujo de la información se encuentra en un rango de 10 gigabits por segundo. Un grupo internacional de ingenieros demostró, en un artículo publicado el 28 de junio en la revista *Science*, que la codificación de la información valiéndose de vórtices ópticos expandiría ese límite más allá de los mil gigabits por segundo. “Este límite se elevaría todavía más si pudiésemos modificar el formato de los vórtices”, explica Falcão Filho. ■ Igor Zolnerkevich

Artículo científico

AMARAL, A.M. et al. Shaping optical beams with topological charge. *Optics Letters*. v. 38, n. 9. may. 2013.