

Generación de haces ópticos con momento angular orbital

Contacto: Pablo Vaveliuk (pablovaveliuk@gmail.com)

Dafne Amaya (dafneamaya@gmail.com)

Lugar de realización: Centro de Investigaciones Ópticas (CIC-CONICET-UNLP)

Introducción:

El estudio de la luz jugó un papel clave durante el siglo XX en el desarrollo de nuevas teorías físicas. Ya sea teórica o experimentalmente, el estudio de las ondas electromagnéticas siempre ha contribuido a ampliar las fronteras de la ciencia. Con la teoría electromagnética de Maxwell fue posible explicar muchos fenómenos, en particular se demostró que una onda electromagnética transporta energía, momento lineal y momento angular.

El momento angular de la luz tiene dos componentes. La primera está asociada al estado de polarización del campo eléctrico y es equivalente al momento angular intrínseco o spin. Los estados cuánticos de *spin up* y *spin down* de las partículas elementales se corresponde en la luz a la polarización circular en sentido horario y antihorario. La segunda componente está asociada a la fase azimutal en la distribución transversal del campo eléctrico y es equivalente al momento angular orbital. Los estados asociados al número cuántico azimutal se corresponden a los estados discretos de la fase azimutal de la luz.

Cuando la luz interactúa con la materia, se pueden observar efectos de transferencia de momento angular de la luz hacia la materia. En 1909, Poynting describió un equivalente mecánico para el spin. Un haz de luz circularmente polarizado debe ejercer un torque al atravesar una placa birrefringente. Basada en esta idea Beth, en 1936, observó por primera vez la presencia del spin de un haz de luz. En 1992 Allen y colaboradores demostraron que Momento Angular Orbital (MAO) es una consecuencia de haces con una distribución de amplitud que posee una distribución azimutal de fase de la forma $e^{il\varphi}$ donde φ es la variable azimutal en coordenadas cilíndricas y l es un número entero llamado número cuántico azimutal. Este resultado es independiente de los estados de polarización y es típico para haces que poseen un frente de onda helicoidal. La presencia de este tipo de fase hace que el haz óptico presente una singularidad, o sea una fase indeterminada en el origen de coordenadas y por lo tanto la intensidad del haz debe ser nula en el centro. En óptica tales singularidades topológicas son conocidas como vórtices. Para haces con un frente de onda helicoidal, el vector de Poynting tiene una componente azimutal, que produce un MAO en la dirección de propagación del haz. Haces de esta naturaleza han demostrado ser capaces de hacer rotar nano-micropartículas.

Debido a su enorme interés para aplicaciones en fotónica como pinzas ópticas, óptica cuántica como generación de estados entrelazados y otras, el MAO de la luz es una de las áreas de frontera en las investigaciones de la interacción luz-materia. Por esta razón, creemos

importante que estudiantes de los últimos cursos de la Licenciatura en Física tengan acceso al conocimiento sobre esta importante temática actual.

Objetivo:

Generar experimentalmente haces ópticos con diferentes estados cuánticos de MAO.

Metodología:

1. *Conocimientos previos (2-3 semanas)*

La propuesta a los estudiantes interesados es la siguiente: en primer lugar, realizar un breve estudio teórico sobre la propagación en el espacio libre de un haz láser, que es una onda electromagnética monocromática, con coherencia espacial y temporal. Luego, a este haz óptico se le agrega un grado de libertad adicional en la fase relacionado con el MAO para extender el estudio a este tipo de haces. Para ello se tomará como punto de partida la ecuación de Helmholtz, que es la ecuación de ondas independiente del tiempo, similar a la ecuación de Schrödinger en mecánica cuántica. El punto central es determinar las condiciones necesarias para generar haces ópticos con MAO a partir de las soluciones particulares de dicha ecuación.

Una de las formas para determinar si un haz láser posee o no MAO es realizar un proceso interferométrico entre dicho haz que lleva asociada la fase azimutal y una onda plana que lleva asociada la fase plana. Los haces con MAO se caracterizan por poseer un interferograma específico llamado diagrama de *Fork* (tenedor).

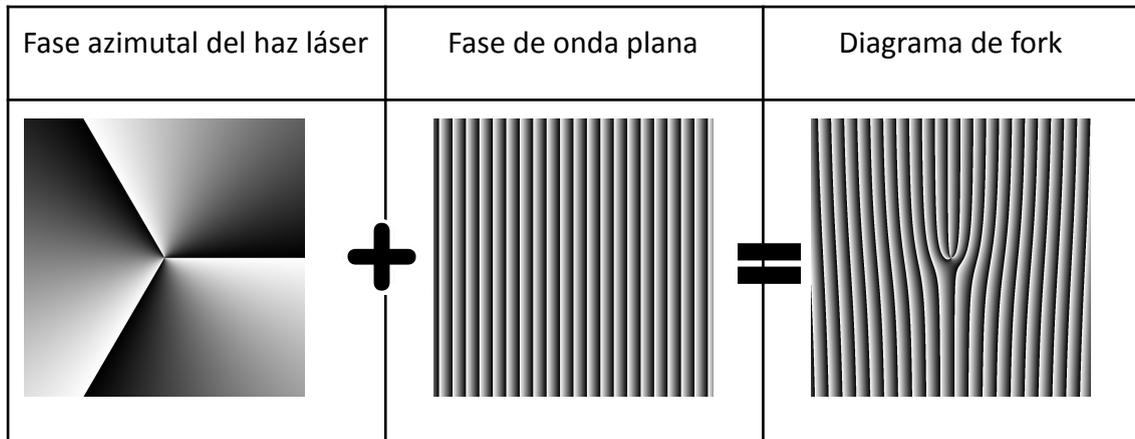


Figura 1: El holograma MAO (Fork) es generado a partir de la superposición de un haz óptico poseyendo una estructura de fase azimutal y un haz de referencia (onda plana por ejemplo) poseyendo una fase lineal. Las fases están “empaquetadas” entre valores de 0 (negro) a 2π (blanco), que matemáticamente representa una función módulo 2π .

A partir del diagrama de fork se puede determinar el número cuántico azimutal l presente en la fase helicoidal del haz láser $e^{il\phi}$ asociado al estado característico de MAO, $L = l\hbar$, donde L es el momento angular orbital del haz y \hbar es la constante de Planck dividida 2π .

2. Generación experimental de haces con MAO (2-3 semanas)

Una de las formas para generar experimentalmente un haz con MAO es

- Sintetizar computacionalmente diagramas de fork con distintos números cuánticos l , ej. $l=1,2,3$
- Imprimirlos en hojas de acetato transparente.
- Implementar el esquema óptico básico para la generación del haz con MAO.
- Optimizar el tamaño del holograma impreso hasta obtener un haz con MAO que pueda ser “observado” y registrado por una cámara CCD.
- Corroborar que el haz generado posea MAO por medio del proceso interferométrico descrito en la sección 1 de la metodología

En la Figura 2 se ve esquematiza la generación de haz con MAO con momento angular orbital

$$L = \pm 3 \hbar$$

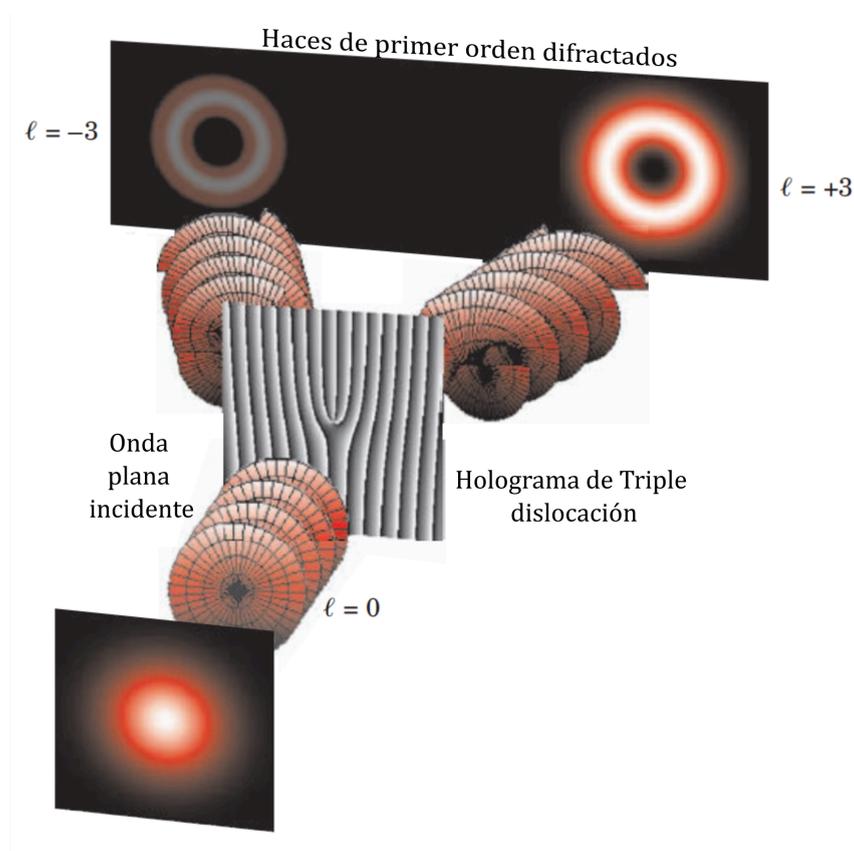


Figura 2: Esquema simplificado del proceso de generación de un haz óptico poseyendo MAO. Un haz de referencia (onda plana, por ejemplo) incide sobre un holograma de Fork siendo difractado por el mismo. El primer orden de difracción se corresponde con un par de haces poseyendo MAO $-l\hbar$ y $l\hbar$. En el ejemplo $l=3$, Nótese que la singularidad de la fase helicoidal en el centro del haz MAO fuerza obligatoriamente a dicho haz a poseer intensidad de radiación nula en la región espacial central.

Referencias

Miles Padgett, Johannes Courtial, and Les Allen. “Light's Orbital Angular Momentum,” *Physics Today*, vol. 57 number 5, pag. 35 (2004); View online: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1768672>