



## DESIGUALDADES DE BELL PARA LOS HACES VECTORIALES MATHIEU-GAUSS HELICOIDALES

Edgar Medina-Segura<sup>1</sup> y Carmelo Rosales-Guzmán<sup>1</sup>  
1 Centro de Investigaciones en óptica, A. C.. edgarmedinas@cio.mx

En la óptica moderna, el término de luz estructurada hace referencia al control de los distintos grados de libertad de la luz, como pueden ser su amplitud, fase, modo espacial, polarización, frecuencia, entre otros<sup>1</sup>. Dentro de este campo de estudio, se conocen como haces escalares a aquellos cuya polarización es homogénea sobre su plano transversal; y como haces vectoriales a los que presentan distintos estados de polarización sobre este mismo plano<sup>2</sup>. Debido a esta variación en los estados de polarización, el campo eléctrico de los haces vectoriales no puede ser escrito como el producto de un modo espacial y su polarización, sino que se escribe como la superposición de dos modos espaciales ortogonales con polarizaciones ortogonales cada uno de ellos<sup>2</sup>, dando lugar a un entrelazamiento clásico local entre los grados de libertad espacial y de polarización<sup>3</sup>. Dada su forma matemática, idéntica a la representación de dos fotones entrelazados en mecánica cuántica, los haces vectoriales comparten el mismo marco de trabajo matemático con los estados cuánticos enredados, por lo que es posible medir una desigualdad de tipo Bell para estos estados de luz clásicos<sup>3</sup>, como se ha hecho anteriormente para haces con geometrías cilíndricas, como los Laguerre-Gauss<sup>4</sup> y Bessel<sup>5</sup>. En este trabajo, demostramos experimentalmente que los haces vectoriales Mathieu-Gauss Helicoidales (HMGVB), los cuales presentan una geometría elíptica, violan la desigualdad de Clauser-Horn-Shimony-Holt-Bell (CHSH-Bell)<sup>6</sup>, una desigualdad de tipo Bell para luz clásica, e incluimos el parámetro de excentricidad de los HMGVB en el análisis de los resultados. Primero, en la parte de la generación de los HMGVB utilizamos un modulador espacial de luz (SLM) y la técnica de modulación compleja de amplitud<sup>7</sup> para codificar los modos espaciales necesarios. Posteriormente, con un interferómetro tipo Sagnac, de camino común, y placas retardadoras agregamos los estados de polarización ortogonales a los modos escalares ortogonales y mediante su superposición generamos los haces vectoriales. Finalmente, en la parte de medición, utilizamos un segundo SLM y un rotador de polarización para llevar a cabo las medidas proyectivas necesarias sobre los dos grados de libertad para verificar la violación de la desigualdad de CHSH-Bell. En resumen, en este trabajo se demostró experimentalmente que los HMGVB violan la desigualdad de CHSH-Bell y se realizó un análisis incluyendo al parámetro de excentricidad característico de estos haces. El trabajo aporta al estudio del controversial término de entrelazamiento clásico presente en los haces vectoriales para un tipo de haz con geometría elíptica, los HMGVB. 1Nonseparable States of Light: From Quantum to Classical, *Laser Photo. Rev.* 16, 2100533 (2022). 2A review of complex vector light fields and their applications, *J. Opt.* 20, 123001 (2018). 3Concepts in quantum state tomography and classical implementation with intense light: a tutorial, *Adv. Opt. Photon.* 11, 67-134 (2019). 4Measuring the nonseparability of vector vortex beams, *Phys. Rev. A* 92, 023833 (2015). 5Recovery of nonseparability in self-healing vector Bessel beams, *Phys. Rev. A* 98(5), 053818 (2018). 6Proposed Experiment to Test Local Hidden-Variable Theories, *Phys. Rev. Lett.* 23(15), 880-884 (1969). 7Pixelated phase computer holograms for the accurate encoding of scalar complex fields, *J. Opt. Soc. Am. A* 24(11), 3500-3507 (2007).