



SPaDEs: Un vistazo a sus ventajas y rendimiento

Investigadores del ICFO introducen SPaDEs (Symmetric Parallel Displacement Entanglement Source) como un diseño innovador de fuente de fotones entrelazados por polarización (EPS, por sus siglas en inglés), que utiliza placas de Savart, y lo presentan como un avance significativo frente a los diseños tradicionales de EPS, especialmente aquellos basados en desplazadores de haz únicos.

Abril 14, 2025

Lo que distingue a SPaDEs es su capacidad para abordar de manera efectiva el problema del walk-off longitudinal, un problema común en las EPS que emplean desplazamiento de haz. Este fenómeno, en el que diferentes modos de polarización experimentan desplazamientos espaciales distintos al pasar por elementos ópticos, puede degradar significativamente la calidad del entrelazamiento. El artículo destaca el uso de las placas de Savart como un factor clave para mitigar este problema.

Los desplazadores de haz convencionales dividen un haz según la polarización, pero no mantienen la superposición espacial de los dos componentes de polarización después del

desplazamiento. Esto da lugar a una situación en la que los dos haces, después de pasar por el desplazador, ya no están perfectamente alineados en la dirección de propagación. Esta desalineación se conoce como walk-off longitudinal. Este walk-off puede ser especialmente perjudicial cuando se utilizan cristales no lineales para la conversión paramétrica descendente espontánea (SPDC, por sus siglas en inglés). Idealmente, para una generación eficiente de entrelazamiento, ambos modos de polarización deberían experimentar la misma interacción no lineal dentro del cristal. Sin embargo, con el walk-off longitudinal, los dos modos pueden interactuar con regiones diferentes del cristal, generando una descoordinación en los pares entrelazados generados y, por tanto, reduciendo la calidad del entrelazamiento.

SPaDEs enfrenta este desafío utilizando placas de Savart tanto para la separación como para la recombinación del haz de bombeo. Este diseño simétrico asegura que cualquier desplazamiento espacial introducido en un modo de polarización sea compensado con precisión al recombinar los haces, eliminando efectivamente el efecto de walk-off. Los investigadores del ICFO, **Giacomo Paganini**, el **Dr. Alvaro Cuevas**, el **Dr. Robin Camphausen**, **Alexander Demuth**, dirigidos por el **Prof. ICREA Valerio Pruneri**, presentan evidencia experimental que respalda esta afirmación, demostrando que el walk-off longitudinal en su configuración SPaDEs es insignificante en comparación con una configuración que utiliza un desplazador de haz convencional.

El artículo, publicado en *APL Photonics*, enfatiza que la eliminación del walk-off ofrece una ventaja significativa al trabajar con ciertos tipos de cristales no lineales, en particular aquellos con periodos de polarización no uniformes o de menor longitud. En estos cristales, incluso ligeras desalineaciones debidas al walk-off pueden afectar gravemente la eficiencia de la generación de entrelazamiento. Al eliminar este efecto, SPaDEs amplía el rango de cristales no lineales utilizables, aumentando su versatilidad y adecuación para diversas aplicaciones.

Los investigadores del ICFO han evaluado el rendimiento del sistema SPaDEs utilizando una variedad de métricas. Uno de los parámetros clave analizados es el brillo, una medida de la eficiencia con la que la fuente produce pares de fotones entrelazados. El brillo alcanzado por SPaDEs, de $(9.50 \pm 0.03) \times 10^7$ pares/(s \times mW), es suficiente para aplicaciones prácticas e comunicación cuántica como QKD en espacio libre o por fibra óptica. El artículo reconoce que, si bien este brillo no es el más alto, representa un equilibrio entre eficiencia y otras características deseables de la fuente.

Un aspecto crítico de cualquier EPS es la calidad del entrelazamiento producido. En este sentido, SPaDEs muestra un rendimiento excepcional, como lo demuestra su alta fidelidad, a la cual mide que tan cerca está el estado generado del estado entrelazado ideal. La fidelidad de 0.992 ± 0.001 , derivada de la violación de la desigualdad de Bell (cuantificada por el parámetro CHSH de 2.82 ± 0.04), destaca la generación de pares de fotones entrelazados de alta calidad. Esta fidelidad casi perfecta subraya la efectividad del diseño con placa

de Savart para minimizar efectos no deseados que puedan degradar el entrelazamiento. Los investigadores también han identificado posibles áreas de mejora futura. Una de ellas es el aumento de la eficiencia de anunciamiento de la fuente. La eficiencia de anunciamiento se refiere a la probabilidad de detectar con éxito uno de los fotones de un par entrelazado lo que indica la presencia del otro fotón. Los autores sugieren que el uso de componentes ópticos de mayor calidad podría aumentar esta eficiencia.

Referencia:

Giacomo Paganini, Alvaro Cuevas, Robin Camphausen, Alexander Demuth and Valerio Pruneri, High-quality entangled photon source by symmetric beam displacement design. *APL Photonics* 10, 031302 (2025).