

Diseño y construcción de una fuente de pares de fotones enredados

Victor Giraldo Buesaquillo Gómez

Código: 201510687

Asesora: Ph.D. Mayerlin Nuñez Portela

15 de agosto de 2016

Resumen

En este reporte se resume el proceso de construcción de una fuente de pares de fotones enredados mediante el proceso de conversión paramétrica espontánea descendente (SPDC por sus siglas en inglés), usando un cristal BBO tipo II colineal. Se observó los anillos característicos de los fotones SPDC. Además fue posible medir la función de correlación temporal sin normalizar que hay entre los fotones obtenidos. Por otra parte, también se midió el espectro de dichos fotones usando un monocromador.

1. Introducción

La fuente de fotones enredados se construye con un haz de luz láser que incide sobre un cristal BBO birrefringente. Dichos pares de fotones se producen por “SPDC process” y están enredados en diferentes grados de libertad, tales como frecuencia y polarización. Sin embargo, producir pares de fotones entrelazados no es tarea sencilla y se debe realizar un procedimiento cuidadoso en el armado y alineación de los elementos de la fuente. En cuanto al láser es necesario conocer la longitud de onda central, la potencia máxima, la potencia promedio, el ancho de banda y el modo espacial del haz [1, 2].

Una vez armada la fuente viene la etapa de reconocimiento de pares de fotones enredados. Para ello se usan dos detectores, uno para cada una de las ramas del aro de radiación producido. En esta etapa se utilizan fibras ópticas y detectores electrónicos conectados a otro dispositivo electrónico especial conocido como tarjeta FPGA programable. Este dispositivo se debe programar especialmente para la detección de pares de fotones correlacionados. El software utilizado para la lectura de detección permite establecer el tiempo de diferencia en la llegada de los fotones a cada uno de los detectores, los conteos en cada detector y las coincidencias. Los fotones que hayan sido detectados al tiempo serán contados como coincidencias. Luego de armar, caracterizar y optimizar la nueva fuente de pares de fotones enredados se podrá dar continuidad a la propuesta de trabajo de grado.

2. Objetivos

En este trabajo se desarrollaron los siguientes objetivos:

2.1. Objetivo general

Construir una fuente de fotones entrelazados mediante el proceso SPDC.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el láser con lentes.
- Alinear el láser con el cristal BBO para producir fotones entrelazados.
- Armar el sistema de detección de fotones.
- Realizar el análisis de datos correspondientes a la caracterización de la fuente.

3. Caracterización del láser con lentes

En la primera parte de este proyecto intersemestral se aprendió el funcionamiento del nuevo láser de bombeo adquirido, el cual cuenta con controlador de temperatura, controlador de corriente, diodo láser y montura. El diodo láser que se empleó para la fuente fue un L405P20 fabricado por Thorlabs. Dicho láser puede cambiar de 400 a 410 nanómetros en función de la temperatura, mientras que ajustando la corriente se puede alcanzar una potencia que va de 5 a 30 mW. El sistema empleado para construir el láser de bombeo se puede apreciar en la Figura 1.



Figura 1: El láser cuenta con cuatro partes principales, controlador de temperatura, controlador de corriente, diodo láser y montura. Cada una de estas partes se configura de acuerdo a las especificaciones que da Thorlabs, el fabricante de este sistema, para el correcto funcionamiento del láser.

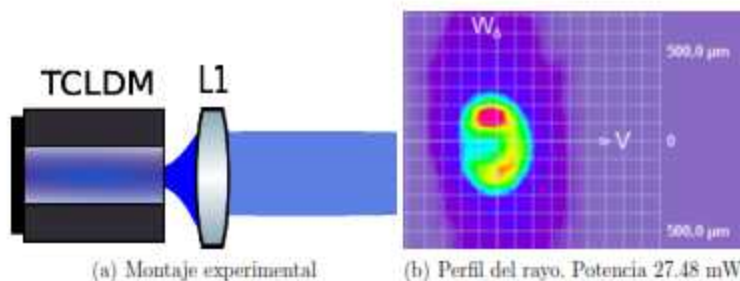


Figura 2: (a) Setup para la alineación del láser. (b) Perfil del láser a una distancia de 40 cm de la lente de colimado.

En la Figura 2(b) se observa que el rayo de luz láser, luego de ser alineado y colimado, presenta una forma elíptica y además no es completamente Gaussiano. Por tanto, se construyó un filtro espacial que elimina las anomalías y permite obtener un rayo de sección transversal aproximadamente circular. El montaje y el perfil obtenido después del filtro se observa en la Figura 3. El filtro se construyó con un pinhole de $25 \mu\text{m}$ y se obtuvo una eficiencia de transmisión de cerca del 60% respecto a la potencia incidente en el pinhole.

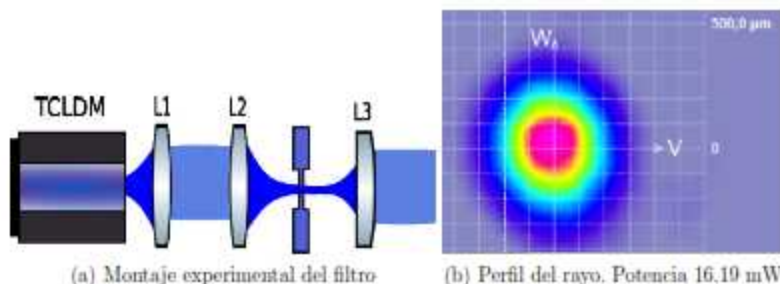


Figura 3: Setup para el filtro espacial y perfil correspondiente. Se usa una lente de 30 mm de distancia focal y un pinhole de $25 \mu\text{m}$. El perfil del haz se hace aproximadamente circular y Gaussiano.

4. Producción de fotones enredados

El modo Gaussiano obtenido se focalizó en el cristal no lineal para producir fotones SPDC. La cintura del rayo en el foco y por ende en el cristal fue de $30 \mu\text{m}$ y luego se usó una cámara CCD para ver los anillos característicos del SPDC. En la figura 4 se observa que los anillos tienen divergencia asimétrica y es debido a que no

hay una distribución simétrica en la frecuencia de los fotones que forman los anillos, dicha propiedad disminuye a medida que aumenta el tamaño de la cintura del rayo en el foco, esto es reportado por J.-C. Lee y Y.-H. Kim [3].

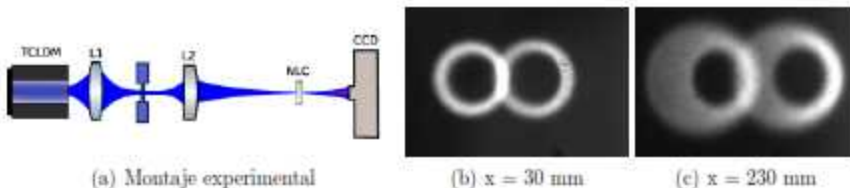


Figura 4: (a) Setup para obtener imágenes de los fotones SPDC (b) Fotones spdc a 30 mm del cristal. (c) Fotones spdc a 230 mm del cristal.

La divergencia asimétrica de los fotones obtenidos puede afectar la colección de fotones entrelazados en los detectores, por lo que se decide aumentar el tamaño de la cintura en el foco a $183 \mu\text{m}$ desenfocando la lente L2 y el resultado se observa a diferentes distancias en la Figura 5. Sin embargo, dicha divergencia se hace evidente también con lentes de colimado de distancia focal pequeña debido a que son gruesas y refractan los fotones de manera asimétrica por su dependencia de la frecuencia.

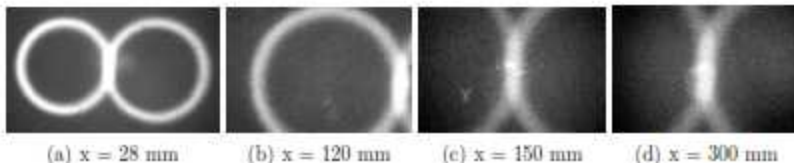


Figura 5: En (a) y (b) aparecen los fotones SPDC sin colimar. Las figuras (c) y (d) corresponden a imágenes de los fotones SPDC a distancias de 150 mm y 300 mm del cristal usando una lente de colimado de 125 mm.

5. Detección de fotones

Dado que se tiene una fuente de SPDC tipo II, los fotones de los dos anillos producidos son ortogonales y se conocen tradicionalmente como signal y idler. Se usa un divisor de haz de polarización (PBS) para separarlos. Son colimados con una lente de 25.4 mm de distancia focal. Se usa un espejo dichroico o filtro para separar los fotones SPDC del bombeo. Se usa dos espejos en cada brazo del PBS para acoplar la luz en fibras multimodo, las cuales se conectan a dos detectores de avalancha de electrones y luego a una tarjeta FPGA y al computador para analizar los datos.

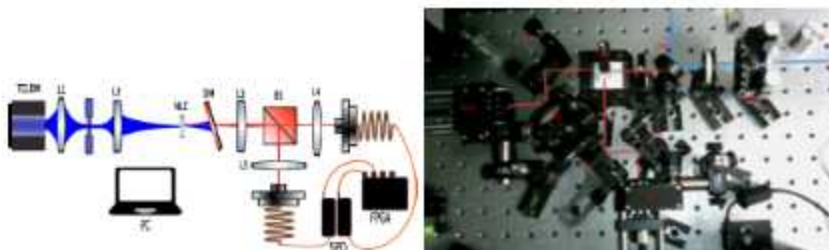


Figura 6: Montaje experimental de la fuente de fotones entrelazados. El rayo pasa por un filtro espacial y es enfocado en el cristal con una lente de 30 mm. DM es un espejo dichroico para separar el infrarrojo del bombeo. Luego los fotones son separados y colectados en los detectores.

6. Caracterización de la fuente

Las señales que llegan de los detectores a la tarjeta FPGA se analizan en términos de la diferencia de tiempo en que dichas señales son medidas. Cuando la señal de un detector llega a la tarjeta se empiezan a medir las señales que llegan de ambos detectores en una ventana de tiempo de 9 ns, las cuales son medidas como coincidencias. A su vez el tiempo de llegada de las señales de cada detector se puede retrasar en intervalos de 1.8 ns. Haciendo un barrido de retrasos en las señales se puede medir la función de correlación temporal no normalizada entre las señales de los detectores y por ende entre los fotones SPDC. El resultado en la Figura 7 indica que se tiene una fuente de fotones entrelazados con 7000 coincidencias por segundo.

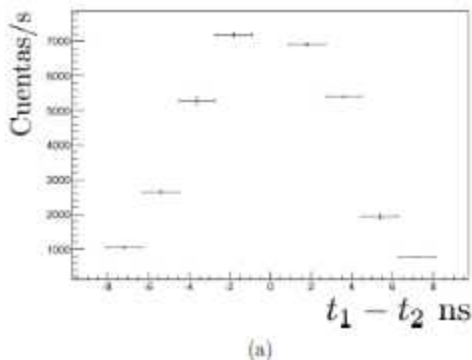


Figura 7: Función de correlación en tiempo no normalizada.

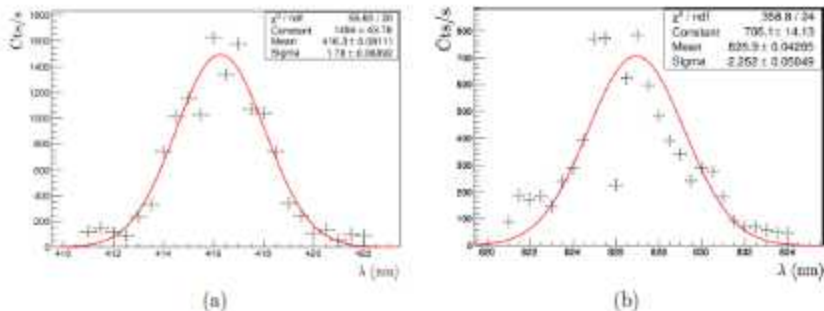


Figura 8: (a) Espectro del bombeo remanente luego del filtro. (b) Espectro de la señal idler.

Por otra parte, también comenzamos la caracterización espectral de la fuente midiendo el espectro de la luz acoplada en el camino del idler usando un monocromador. Hay una señal remanente de luz ultravioleta, a la que se midió el espectro, que es más intensa que el SPDC, pero dicha señal se reduce usando un filtro pasabandas de 810 ± 10 nm. Los resultados de la Figura 8 están desfasados con respecto a la longitud de onda de las señales medidas posiblemente porque no se calibró debidamente el monocromador.

7. Conclusiones

En este trabajo se aprendió el funcionamiento del láser y se acondicionó para obtener un modo Gaussiano del rayo con una eficiencia del 60%.

Fue posible obtener imágenes de los fotones SPDC que revelaron propiedades como su divergencia asimétrica la cual se puede controlar aumentando la cintura del rayo en el foco o enfocando con lentes delgadas.

Mediante el sistema de detección de fotones se pudo medir del orden de 7000 coincidencias y se estableció que la luz ultravioleta también genera señales que el sistema reconoce como coincidencias.

En cuanto a la caracterización de los fotones se midió la función de correlación temporal no normalizada de los fotones y se empezó el análisis espectral de los fotones SPDC midiendo el espectro de los mismos con un monocromador. Esta medición también reveló que hay luz ultravioleta remanente luego de los filtros.

Referencias

- [1] Yanhua Shih. Entangled biphoton source - property and preparation. *Reports on Progress in Physics*, 66(6):1009, 2003.

- [2] Beck M. *Quantum mechanics: Theory and experiment*. Oxford University Press, 2012.
- [3] Jong-Chan Lee and Yoon-Ho Kim. Spatial and spectral properties of entangled photons from spontaneous parametric down-conversion with a focused pump. *Optics Communications*, 366:442–450, 2016.

Firmas

Asesora: Ph.D. Mayerlín Nuñez Portela

Estudiante: Victor Giraldo Buesaquillo Gómez.