

Construcción y Caracterización de una fuente de fotones enredados

Proyecto Laboratorio Intermedio

Sergio Gutiérrez & Diego Silvera, asesorado por Mayerlin Núñez

Universidad de los Andes, Departamento de Física



Abstract

Se construyó una fuente de fotones enredados producidos a través de conversión paramétrica espontánea o SPDC, a partir de un láser de diodo y un cristal BBO tipo I. Se efectuó una caracterización de la distribución espacial de los fotones, y posteriormente se acopló la luz a un divisor de haz en fibra óptica para medir el número de pares producidos en una configuración colineal. Se midió la correlación temporal de los pares producidos, y el espectro conjunto de la luz para entender las correlaciones en frecuencia de dichos pares. Por último, se estudió las condiciones de phase matching colineal y no colineal.

Introducción

Este proyecto es parte de un experimento que propone estudiar la excitación de una transición atómica mediante la absorción de dos fotones entrelazados. Esto es posible modificando la correlación temporal de los pares producidos. Debido a esto, el propósito de este proyecto radica en el estudio de la correlación temporal, en frecuencia y espacial de un par de fotones entrelazados. En la FIG. 1 podemos ver que para realizar este experimento es necesario una fuente de fotones SPDC producidos por un cristal BBO (Barium Borate Crystal), una línea que genera un retraso temporal entre los dos fotones producidos, una muestra y un sistema de detección.

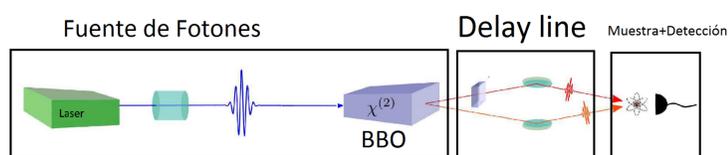


Figure 1: Esquema resumido del proceso SPDC

A partir de este esquema, se buscó medir la longitud de onda del láser incidente, evaluando la evolución de la misma con el paso del tiempo. Con una cámara CCD, se caracterizó el perfil y la correlación espacial de la fuente SPDC. Por último, se caracterizó la correlación en frecuencia del par de fotones que aparecen de la fuente, usando un sistema de conteo de fotones individuales o SPC (Single Photon Counter), y una targeta FPGA, con el objetivo de hacer un conteo apropiado de las coincidencias temporales encontradas.

Conversión paramétrica espontánea (SPDC)

Haciendo uso de un cristal BBO, se genera un par de fotones entrelazados. Las frecuencias y su distribución espacial están dadas por las condiciones de *phase matching*, que son las siguientes:

$$w_p = w_s + w_i \quad (1)$$

$$\vec{k}_p = \vec{k}_s + \vec{k}_i \quad (2)$$

Donde w_p es la frecuencia del pump incidente del láser, y los subíndices s y i corresponden al par de fotones producidos, denominados *signal* y *idler*. Debido a estas condiciones, se dice que los fotones se encuentran correlacionados en frecuencia y espacialmente. El perfil espacial producido por un cristal BBO depende de si se trata de un cristal tipo I o tipo II, cuyos perfiles espaciales discrepan en su perfil espacial. En el proyecto actual, se hizo uso de un cristal BBO tipo I, dado que el perfil espacial generado se ajusta mejor a los objetivos de la experimentación. Esto se ilustra a continuación:

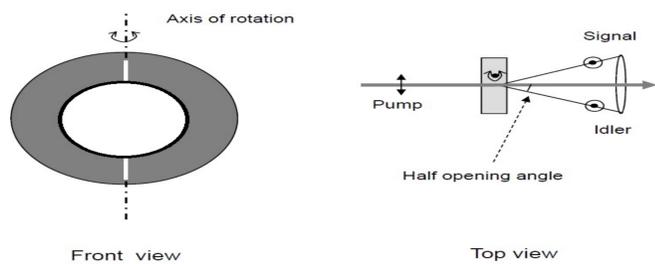
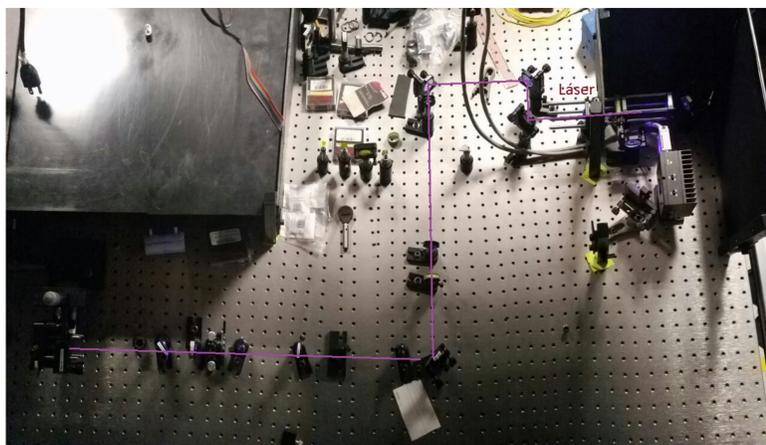


Figure 2: Perfil espacial generado por un cristal tipo I

Marco Experimental

0.1 Metodología

Se bombeó el cristal a partir de un láser cuya longitud de onda está alrededor de 411 nm. Se hizo uso un montaje experimental tal que las condiciones de phase matching dieran lugar a dos haces de fotones con la mitad de la energía del láser incidente, es decir, con longitudes de onda cercanas a 822 nm. Los fotones resultantes se caracterizaron haciendo uso de un divisor de haz en fibra óptica. A continuación, el montaje experimental efectuado



Resultados

Haciendo uso de una cámara CCD y efectuando rotaciones al cristal respecto de una configuración inicial preferencial, se caracterizó el perfil espacial del haz resultante luego del proceso SPDC. La configuración inicial se usa para mediciones posteriores, debido a que permite acoplar los fotones entrelazados a una fibra óptica.

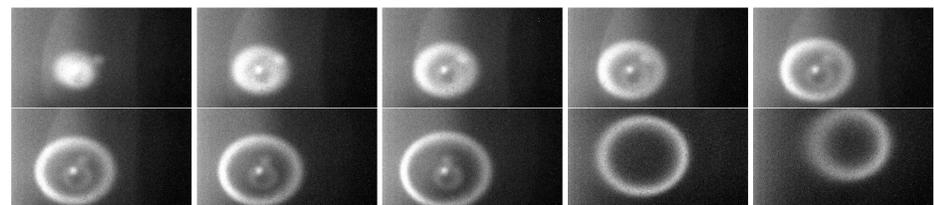


Figure 3: Perfil espacial del cristal BBO tipo I al efectuar rotaciones a diferentes ángulos y distintas distancias. La primera imagen corresponde a la distribución espacial preferencial. Se puede apreciar cómo el anillo diverge respecto del centro al efectuar rotaciones del cristal, como se espera a partir de la teoría. El punto que se observa hacia el centro, corresponde al residuo del láser incidente.

Por otro lado, se obtuvo el joint spectrum, que corresponde a la intensidad de conteos de coincidencias temporales a partir del montaje relacionando las longitudes de onda de los fotones *signal* y *idler*. Se muestra a continuación lo que se obtuvo:

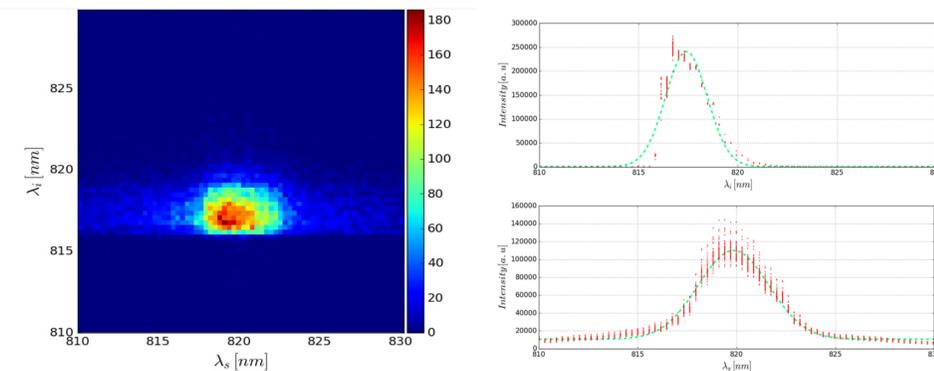


Figure 4: Resultados obtenidos del joint spectrum en el laboratorio.

Si bien hay un pico de intensidades alrededor de longitudes de onda idénticas para estos pares de fotones según el conteo efectuado por el Single Photon Counter (SPC), el espectro esperado debería tener una forma distinta, con una cantidad mayor de conteos a lo largo de la gráfica. Esto ocurre debido a que no toda la luz se logró acoplar a la fibra óptica, lo que impide que el joint spectrum se muestre completamente. La explicación experimental radica en que no se encontró la posición de la lente adecuada tal que la distancia focal de la misma lograra acoplar la luz a la fibra óptica.

Conclusions

- La longitud de onda del láser se mantiene constante a lo largo del tiempo, en un valor de 411.77 nm, si bien existen variaciones ligeras alrededor de 0.01 nm. Esto algo fundamental para los objetivos de la experimentación.
- Se logró caracterizar correctamente la correlación espacial y temporal, posterior al proceso SPDC efectuado a través del cristal BBO. Se observó que el número de coincidencias era máximo alrededor de las frecuencias esperadas y cuando el retraso electrónico era igual para ambas fibras ópticas.
- Se hizo una medición del joint spectrum, que si bien no muestra el espectro completo esperado, tiene un pico de conteos alrededor de los valores de longitudes de onda λ_s y λ_i esperados. Esto debido a que no toda la luz se acopla a la fibra óptica.

Próximas investigaciones

Estos resultados buscan ser utilizados para realizar una transición de estado virtual entre dos estados de un material haciendo uso de un par de fotones correlacionados. Y como se observó en la experimentación, esto se ha logrado parcialmente, dado que el joint spectrum no muestra el resultado esperado en su totalidad.

References

- [1] Knight G. K. Introduction to Quantum Optics. Cambridge University Press, 2005.
- [2] G. F. Hanne. Virtual State Spectroscopy. *Journal of Physics*, 8:56, 1998.
- [3] A. Valencia, A. Ceré, X. Shi, Molina G., and Torres J. Shaping the waveform of entangled photons. 2013.