Laboratorio 3: Luz SPDC*

Sergio Gutiérrez** and Camilo Rivera***
Universidad de los Andes
(Dated: agosto de 2017)

Se presentan los reultados experiemntales de las diferentes secciones transversales de luz producidas por un proceso de conversión parametrica espontánea (SPDC) y estudiar cual es la correlación entre pares para cada tipo de SPDC.

Palabras clave: Quantum Optics, Entangled fotons, SPDC, BBO

I. INTRODUCCIÓN

Al tratar de estudiar una de las propiedades mas interesantes que permite la mecánica cuánticas es el entrelazamiento cuántico siendo este un sistema en el cual el valor de un observable no esta definido para ninguno de los dos sub-sistemas. Este tipo de fenómenos se han vuelto de gran interés para aplicaciones en la ingeniería por su propiedades de correlación. Además el estado mas popular de enreda miento cuántico que se esta trabajando en física aplicada es el estado de dos fotones entrelazados.

En este Experimento se quiere observar la sección transversal de la luz que esta siendo emitida por un cristal BBO y observar como es el comportamiento de los diferentes SPDC con el fin de entender el estado de dos fotones enredados generados por estos cristales.

II. OBJETIVOS

- Comprender el proceso de convección perimétrica espontánea
- Estudiar la diferencia entre los cristales BBO tipo 1 y tipo 2.
- Observar los diferentes anillos producidos por los diferentes cristales BBO
- Entender las diferencia de la luz producida de manera colineal o no-colineal

III. MARCO TEÓRICO

Para este experimento es necesario entender como se encuentra correlasionada la luz generada por un cristal tipo 1 o tipo 2 , y como se ven afectados esta correlaciones al rotar los cristales. los cristales utilizados son birrrefigentres tal que tiene un índice de refracción diferente para el el fotono ordinario y extraordinario.

A. Conversión paramétrica espontánea (SPDC)

En este proceso se genera luz que no clásica mediantes un proceso perimétrico causado por un medio no lineal caracterizado por una susceptibilidad eléctrica que no es lineal en su segundo orden. El hamiltoniano de interacción que describe esta proceso en el caso no degenerado [1,2] es de la forma

$$\hat{H}_1 \approx \chi^{(2)} \hat{a}_p \hat{a}_s^\dagger \hat{a}_i^\dagger \tag{1}$$

donde vemos que haz incident (pump) es aniquilado y aplicamos el operador construcción de dos fotones signala y idler

$$|1\rangle_p |0\rangle_s |0\rangle_i \rightarrow \hat{a}_p \hat{a}_s^\dagger \hat{a}_i^\dagger |1\rangle_p |0\rangle_s |0\rangle_i = |0\rangle_p |1\rangle_s |1\rangle_1 \tag{2}$$

nótese que se asume que se están generando espontánea y simultáneamente el para d e fotones pero este proceso de down-conversión.Se tiene que conservar la energía así forzando una condición sobre la frecuencia y el numero de onda

$$w_p = w_s + w_i \ , \ \vec{k}_p = \vec{k}_s + \vec{k}_i$$

donde el $w_p, \vec{k}_p$ es la frecuencia y vector de onda del la luz de bombeo, y $w_{s,i}, \vec{k}_{s,i}$ corresponden a la frecuencia y vector de onda de los fotones producidos.En el proceso de creación de fotones tenemos dos posibilidades que el par s,i tengan polarizaciones ortogonales o paralelas entre si y con el pump.

B. SPDC Tipo 1

En el SPDC tipo 1, los pares son producidos con polarizaciones paralelas entre si pero otrogonoales al haz incidente. Como el par de fotones tiene la misma polarización se ven afectados por el mismo índices de refracción del cristal así generando un perfile de luz como se ven en FIG.1. El par de fontones entrelazados puede ser seleccionado de una infinidad de formas lo cual no es problemático porque toda la luz esta correlacionada.

* Curso de Óptica Cuántica
**
***

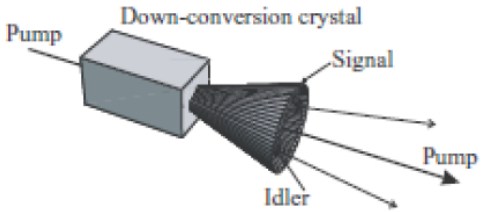


Figura 1: SPDC tipo 1

En esta figura vemos un haz no colineal, puesto que el par no están siguiendo un camino paralelo al del pump, así que en la sección transversal solo vemos un anilllo o podemos hacer converger el anillo en un solo punto. Este Proceso de SPDC cumple con el Eq.1 y Eq.2 porque los pares tiene la misma polarización.

C. SPDC Tipo 2

En el SPDC tipo 2, los pareas salen con polarizaciones ortogonales asi que no siguen el hamiltoniano antes descrito pero es extender la definición para incluir la posibilidad de las paralizaciones.

$$\hat{H}_1 \approx \chi^{(2)} \hat{a}_p \left(\hat{a}^\dagger_{Hs} \hat{a}^\dagger_{Vi} + \hat{a}^\dagger_{Vs} \hat{a}^\dagger_{Hi} \right) \tag{3}$$

Con este hamiltoniano de interacción ya vemos que tenemos la súper posición de estado donde no podemos distinguir cual foton del para s,i va a tener una polarización vertical o horizontal.La función de onda que me describe esta supere posición es dada por

$$\left|\psi^{\pm}\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\left|V\right\rangle_s \left|H\right\rangle_i \pm \left|H\right\rangle_s \left|V\right\rangle_i \right) \tag{4}$$

Como los pares no tiene la misma polarización entonces se ven afectados por diferente índices de refracción así haciendo que el haz extraordinario se refracta y vemos un sección transversal como el de la FIG.2.

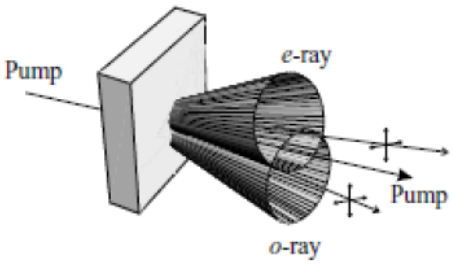


Figura 2: SPDC tipo 2

Ahora se reduce nuestra forma de seleccionar nuestros pares entrelazados puesto que solo podemos seleccionar pares que se encuentren en la intersecciones los dos conos de luz así tendremos una súper posición de estados de polarización.

IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

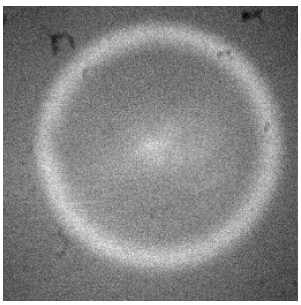
Los Resultados mostrados fueron tomados con una cámara CCD, los cristales fueron rotados de varias formas para poder ver los diferentes tipos de casos tratado en la sección anterior. Al caracterizar el ruido de fondo tomamos una medida con la CCD donde observamos muy poco ruido y nada notable que mencionar así que obvio poner la imagen. Además cuando rotamos el cristal en la dirección ortogonal a la dirección de propagación estamos rotando el eje de simetría del cristal así cambiando las condiciones de face matching bajo las que se esta produciendo el SPDC y vemos que para ambos casos de SPDC al rotar se van difuminando los anillos hasta que ya no tenemos luz SPDC.

A. Cristal tipo 1

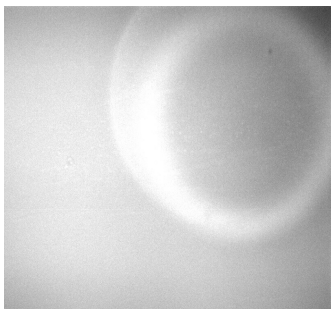
Primero hacemos que el haz incida de forma perpendicular al eje óptico del cristal y así generamos luz con la polarización ortogonal al haz incidente, ponemos un polarizador y lo ponemos de forma vertical y horizontal para ver cual es el efecto sobre la sección transversal.
Recordemos que para el tipo 1 esperamos ver un anillo bien definido para el caso no colonial y cuando rotamos el eje óptico en la dirección de propagación el anillo comienza a converger en un punto.

1. No Colineal

Al aplicar lo antes discutido en el laboratorio obtenemos una sección transversal como la que vemos in FIG. 3a donde vemos el anillo esperado de la teoría. En este caso tendríamos correlacion frecuencia
y espacial puesto que no estas son las variable que tenemos mezcladas en el hamiltoniano y no podemos medir sin afectar el sistema.



(a) Pol. Vertical



(b) Sin Pol.

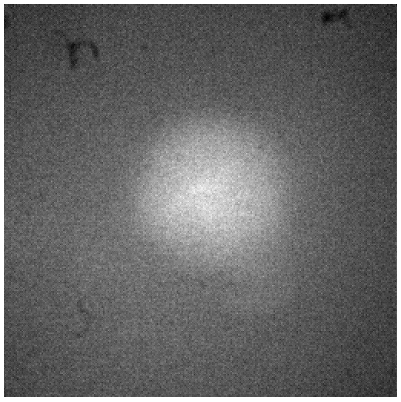
Figura 3: Efecto de un polarizado en Anillos tipo 1

Además vemos cual es el efecto de un polarizado sobre el la luz que sale del cristal BBO cuando no hay polarizado [FIG.3b], donde vemos el anillo de luz SPDC, pero

además vemos el pump que no fue convertido y cuando ponemos un polarizado vertical ya no vemos el pump. Como se explico en el marco teórico esto es debido a que toda la luz SPDC sale con polarización ortogonal a la del pump.

2. *Colineal*

Ahora si rotamos el eje óptico en la dirección de propagación vemos como el anillo converge ene un circulo en el cual solo tenemos correlación frecuencial porque como el anillo converge en un punto no podemos correlaciónar la posición en la que se encuentra un fotón.



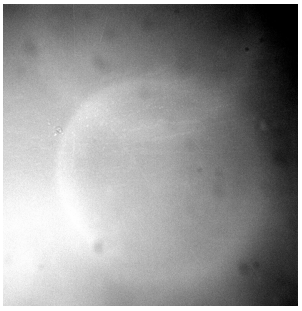
Con este sección transversal podemos ver que podemos seleccionar cualquier par de fotones y vana tener una correlación en frecuencial , en el sentido que podemos escoger un foton que se encuentre centrado y uno en el borde, lo cual indica que tiene frecuencias diferentes , y tendrán una correlacion.

B. Cristal tipo 2

Como ya se discutió esperamos ver dos anillos súper puestos por la condición sobre la polarización ya mencionada. Desafortunadamente no tenemos las mejores fotos tomadas como las mostradas anteriormente pero trabajaremos con las imágenes tomadas en el laboratorio en el cual solo vimos SPDC tipo 2 no colineal, y como se afecta por un polarizado o al rotar el cristal.

1. *No Colineal*

En la figura 4a podemos ver un poco los dos anillos y la luz correlacionada están en la intersección de los anillos, para hacer que sea lineal podemos rotar el eje óptico alejando los anillos uno respecto al otro hasta que el area de contacto entre anillos sea máxima, no podemos mostrar experimentalmente esto porque la resolución de las imágenes es muy mala.



(a) Sin Pol.



(b) Pol. Horizontal

Figura 4: Efecto de un polarizado en Anillos tipo 1

Además podemos ver que al poner un polarizador horizontal vemos que se transmite el pump y el anillo que tiene la misma polarización que el haz incidente lo cual es el efecto inverso visto en el tipo 1 que es de esperar.

V. CONCLUCIONES

En este experimento además de poder ver la sección transversal de los diferentes cristales predicha por la teoría podemos deducir la polarización de la luz incidentes la cual es horizontal para este caso que lo podemos deducir de la Fig. 3. Podemos deducir la polarización de los fotones producidos por cualquier tipo de SPDC, puesto que si es tipo 1 es ortogonal al haz incidente y si es tipo 2 por el anillo en el que esta el foton podemos deducir su polarización debido a su índice de refracción. Las condiciones para producir fotones enredados por polarización son las que tenemos para SPDC tipo 2 en el caso donde se superpongan los dos anillos, si llego al extremo donde no estén en contacto no tenderemos luz enredada.

VI. BIBLIOGRAFÍA

[1] Knight, G. K. Intrudoction to Quantum Optics. Cambridge University Press. 2005

[2] G. F. Hanne. *Virtual state Spectroscopi* American Journal of Physics , 56(8), 1998