

Distribución espacial de fotones

Luis Gregorio Navarro Rodríguez,* Juan Carlos Morales Rojas,** Gabriela Peralta Díaz,*** and Adrián González****
Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México

En la presente práctica se muestra la distribución espacial y de momentos de un haz cuántico, de una fuente BBO (Beta-Borato de Bario) que produce un par de haces mediante conversión paramétrica descendente espontánea a partir de la excitación de un láser de 405 nm. Los haces se definen como cuánticos pues está presente una estadística de detección y coincidencias, que nos permite distinguir fotones individuales.

PACS numbers: 42.50.-p, 42.60.-v

I. INTRODUCCIÓN

La naturaleza cuántica o clásica de los haces es distinguida de al momento de hacer experimentos mediante la función de correlación de segundo orden, la cual es definida en términos de la probabilidad conjunta de obtener conteos [1], es decir a partir de las coincidencias, por lo que en cada experimento que observemos coincidencias nuestra luz será cuántica. Esta luz cuántica no implica corpúsculos [2], sino más bien modos de excitación del campo electromagnético.

Esta luz cuántica, sin embargo, tiene una distribución espacial particular, debido a la conversión paramétrica descendente [3], y se espera una distribución tipo Gaussiana como la obtenida en [4], que se reproduce en la figura 1. En una referencia más reciente [5] dónde se generaliza a un vórtice óptico, también producido por conversión paramétrica descendente espontánea, se puede confirmar que el caso particular que nos interesa es cuando $l = 0$, pues se muestra que la distribución de intensidades está dada como:

$$I_l(x, y) = I_0(x^2 + y^2)^{|l|} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}\right) \quad (1)$$

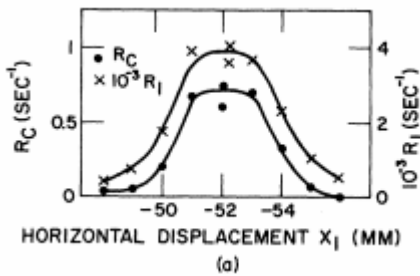


Figura 1. Distribución espacial obtenida en D. C. Burnham y D. L. Weinberg, Phys. Rev. Lett. 25, 84 (1970).

II. PROCEDIMIENTO

Se utilizó un laser de luz violeta de 405 nm de longitud de onda, el cual fue dirigido hacia un cristal de BBO (Beta-Borato de Bario) tipo 1, de conversión paramétrica descendente espontánea. Del cristal se obtiene un par de fotones cuya longitud de onda es 810 nm los cuales detectados mediante lentes y enviados mediante fibra óptica a fotodiodos de avalancha (APD) los cuales están conectados a una computadora para procesar y analizar los datos, y hacer la electrónica de coincidencias. Se movieron los detectores hasta alcanzar la cuenta máxima de fotones detectados, para identificar el centro de la distribución.

Después, con un tornillo micrométrico, se movió uno de los detectores alrededor de 1.2 cm a intervalos de 0.02 cm para estudiar la distribución espacial de los fotones detectados, mediante la comparación con el conteo en el detector fijo a través de las coincidencias entre ambos. La ventana de medición fue de 30 ns y el tiempo de prueba fue de 1 s.

III. DATOS

En cada punto del espacio se tomaron 20 datos que fueron promediados, y los promedios fueron asociados a cada punto para obtener la distribución que se muestra en la figura 2. A cada serie de datos también se le calculó la desviación estándar para obtener la incertidumbre de cada medida.

Se procedió a hacer un ajuste no-lineal a una curva gaussiana utilizando el paquete de análisis estadístico R, obteniendo los siguientes valores del ajuste.

$$y(x) = A \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{\sigma_x^2}\right) \quad (2)$$

$$A = 25570$$

$$\mu = 0.4551$$

$$\sigma_x = 2.02$$

El coeficiente de correlación dio $R^2 = 0.9998915$, y el p-valor, que indica la probabilidad de que este ajuste haya sido generado por datos aleatorios fue de 2×10^{-6} .

* lgnr@ciencias.unam.mx

** jc.mr.149@gmail.com

*** peraltagabriela@ciencias.unam.mx

**** agkorn@hotmail.com

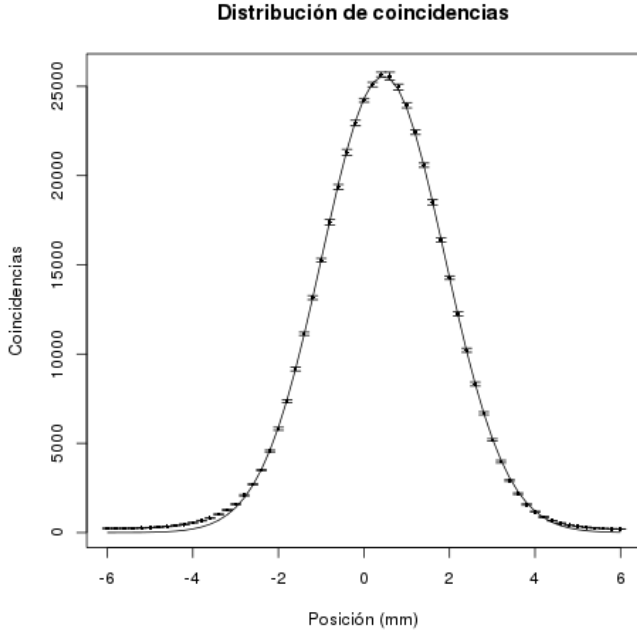


Figura 2. Distribución espacial de las coincidencias obtenida en nuestro experimento

Posterior a esto se procedió a calcular la transformada de Fourier de la curva ajustada para obtener la distribución de momentos, utilizando Mathematica.

$$w(k) = 51638.3e^{-2.0402(k-0.0111533i)^2} \quad (3)$$

De lo anterior se puede ver que $\sigma_p = 0.700106$, por lo que se cumple la relación de incertidumbre de Heisenberg

$$\sigma_x \sigma_p = |(2.02)| |(0.700106)| = 1.4142 \geq \frac{1}{2}\hbar \quad (4)$$

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Nuestros datos claramente ajustan mejor a la teoría que los obtenidos en [4], confirmando la distribución espacial gaussiana del haz cuántico. Por otra parte, claramente la distribución de momentos sigue una distribución gaussiana como se espera, pero además se cumple la relación de incertidumbre de Heisenberg, confirmando la naturaleza cuántica del haz.