



ESTUDIO EXPERIMENTAL DE SOLITONES ESPACIALES OSCUROS EN UN CRISTAL FOTORREFRACTIVO $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$

M. M. Méndez-Otero*, R. J. Delgado-Macuil*, M. D. Iturbe-Castillo* y E. Martí-Panameño*

*Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, BUAP

Av. San Claudio y Río Verde, Col. San Manuel, Ciudad Universitaria, Puebla, Mex. 72570

E-mail: motero@fcfm.buap.mx

*Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica

A.P. 51 y 216. Tonantzintla, Puebla, C.P. 72000, México

RESUMEN

La generación y caracterización de solitones ópticos espaciales oscuros en un cristal fotorrefractivo de BTO son presentadas en este trabajo. Para diferentes distribuciones de intensidad de luz inicial, obtenidas por diferentes técnicas

1. INTRODUCCION

La óptica no lineal surge cuando las propiedades ópticas de algunos materiales se ven afectadas ante intensidades significativas de luz. Estas modificaciones se dan con el surgimiento del láser, quien es el principal responsable del origen de fenómenos ópticos no lineales, tales como: generación de segundo y tercer armónico, auto-modulación de fase, auto-enfocamiento y desenfoque, mezcla de cuatro ondas, efecto Kerr y efecto fotorrefractivo entre otros [1,2].

En aquellos materiales donde el índice de refracción depende de la intensidad del campo de luz, puede ser descrito por la siguiente relación

$$n = n_0 + n_2 \langle E^2 \rangle \quad (1)$$

donde n_0 representa el índice de refracción usual a campos débiles y n_2 es una constante llamada índice de refracción no lineal, que da la razón a la cual se incrementa el índice de refracción no lineal.

La propagación de un haz de luz dentro de un medio con un índice de refracción dado por la ecuación (1), el perfil transversal del haz se ensancha por difracción y la no-linealidad puede llevar al auto-enfocamiento o desenfoque. Así, cuando ambos efectos se compensan entonces se propaga un haz sin cambiar su forma creando un solitón espacial brillante u oscuro, respectivamente.

Experimentalmente los primeros solitones espaciales brillantes fueron reportados en [3] y los oscuros fueron reportados en [4,5]. El primer reporte experimental de solitones espaciales oscuros inducidos en guías de onda

fue dado por Luther-Davies al igual que Castillo [6,7], donde demuestran que varios tipos de interruptores ópticos pueden ser escritos usando estructuras creadas durante la propagación e interacción de solitones espaciales oscuros.

Los medios en los cuales se han generado solitones espaciales oscuros han sido tipo Kerr, térmicos y cristales fotorrefractivos. Un cristal fotorrefractivo de BTO ha sido utilizado en la obtención de solitones espaciales oscuros, los cuales son presentados en este trabajo. En la generación de estos solitones es indispensable contar con una cierta distribución de campo óptico, quien representa la condición inicial. Esta condición inicial se puede obtener al generar un salto de amplitud o de fase en el haz, sin embargo, se ha demostrado que es posible obtener estructuras tipo solitón empleando condiciones iniciales diferentes, siendo este el objetivo principal de este trabajo.

2. ARREGLO EXPERIMENTAL

El arreglo experimental consiste de dos fuentes de luz láser, una de He-Ne a 632 nm de longitud de onda y de 10 mW de potencia (láser para generar los solitones), el otro es un diodo láser a 700 nm y 2.5 mw (láser para probar propiedades de guía). El haz de He-Ne fue expandido, filtrado y colimado a un diámetro de 1 cm, se propagó a través de la mascarilla u objeto que proporcionan la distribución de campo óptico deseado. Esta distribución fue enviada al medio no lineal por medio de un sistema tipo 4f de Fourier, enviando así la luz a la entrada del medio que en este caso fue un cristal fotorrefractivo de $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ de dimensiones 2x5x9 mm. Este cristal da una respuesta no lineal cuando se le aplica un campo eléctrico externo, proporcionado por una fuente de alto voltaje.

Las imágenes de las distribuciones de campo a la entrada y salida del medio no lineal fueron captadas por un sistema que consiste de una lente, una cámara CCD y una



computadora, ver figura 1. Finalmente estas imágenes fueron analizadas y procesadas en la computadora.

3. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS

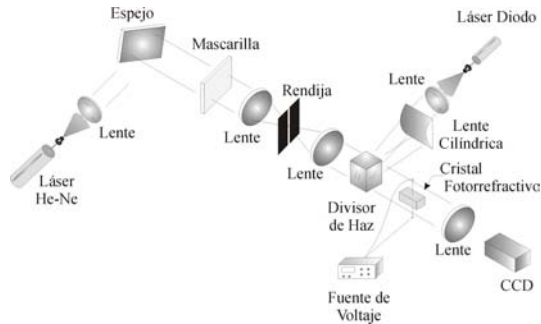


Figura 1. Arreglo experimental para generar solitones espaciales oscuros, empleando diferentes mascarillas para generar la condición inicial.

El procedimiento que se siguió en la elaboración de este trabajo es el siguiente: En primer lugar, se obtuvo la generación de solitones oscuros empleando como condición inicial un salto de fase, el cual se obtuvo al colocar una mascarilla quien proporcionó una variación de fase en el haz, obteniendo así a la entrada del cristal una zona oscura de 25 μm de ancho y a la salida de 48 μm . Después de aplicar un voltaje de 6 kV/cm, se lleva a cabo la cancelación de la difracción obteniendo, así un solitón de 25 μm de ancho, ver figura 2. Al ir incrementando el ancho de esta condición inicial es posible obtener impares de solitones mostrados en la figura 2.

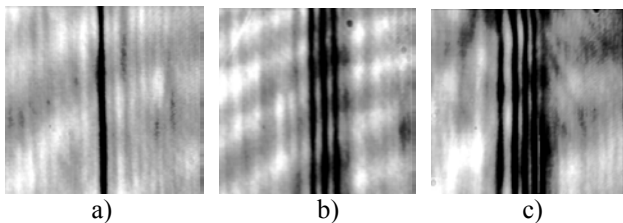


Figura 2. Generación de impares de solitones espacial oscuro, usando un salto de fase de: a) 25, b) 46, y c) 100 μm de ancho. Después de aplicar un campo externo de 6 kV/cm.

Por otro lado, al aplicar un salto de amplitud como condición inicial se obtuvo pares de solitones espaciales oscuros, ver figura 3.

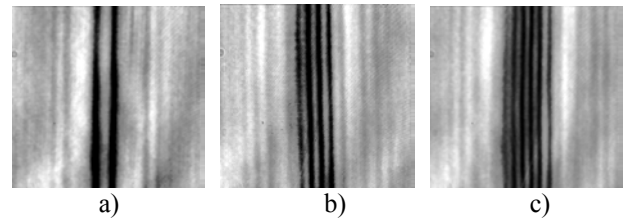


Figura 3. Generación de pares de solitones espacial oscuro, usando un salto de amplitud de: a) 30, b) 70, y c) 88 μm de ancho. Después de aplicar un campo externo de 6 kV/cm.

las condiciones típicas para la generación de solitones espaciales oscuros son el salto de fase y amplitud, sin embargo, hemos demostrado que no son las únicas formas como fue propuesto por Torres-Cisneros et. [7]. De esta manera se estudió la propagación paralela de dos haces coherentes unidimensionales brillantes, encontrando que la diferencia de fase entre los haces es un factor importante en la generación de estructuras tipo solitón oscuro ver figura 4. Estas imágenes muestran la formación de uno y dos solitones oscuros, incluyendo un solitón gris.

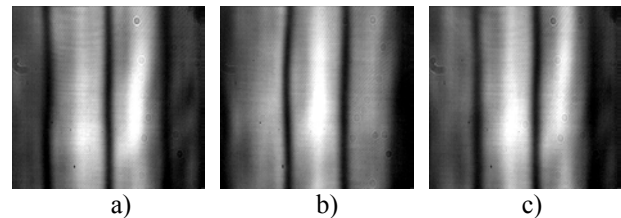


Figura 4. Generación de estructuras tipo solitón, empleando una diferencia de fase entre haces de: a) $\phi=\pi$, b) $\phi=0$ y c) $0<\phi<\pi$. Con una separación entre haces de 230 μm , un ancho para cada haz de 180 μm y un campo externo aplicado de 7.5 kV/cm.

Se ha demostrado la posibilidad de generar un arreglo de solitones espaciales al utilizar como condición inicial un patrón de interferencia en un material fotorrefractivo. En esta caracterización se encontraron dos parámetros importantes como son el periodo de franjas y la magnitud del campo externo aplicado al cristal, ver figura 5.

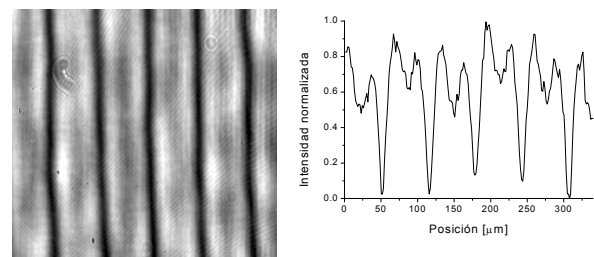




Figura 5 Generación de un arreglo de solitones espaciales oscuros a un campo externo de 6 kV/cm y un periodo de 10 franjas por milímetro. a) imagen del arreglo de solitones y b) perfil del arreglo.

Se ha mencionado que una de las aplicaciones de estos solitones es utilizarlos como guías de onda, es por ello que se hizo incidir un haz de prueba dentro de uno, dos y en un arreglo de solitones, observando que el haz es perfectamente guiado a través de estas guías, como se muestra en la figura 6.

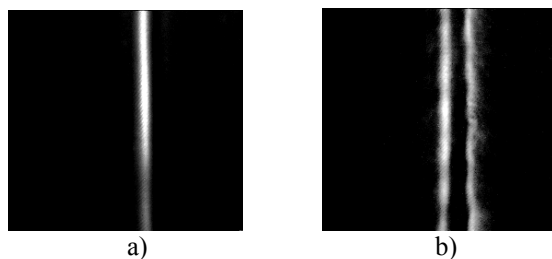


Figura 6 Haz de prueba guiado a través de: a) uno y b) dos solitones espaciales oscuros.

3. CONCLUSION

Se han generado solitones espaciales oscuros y no necesariamente a través de un salto de amplitud y fase. Se puede observar que es posible encontrar estructuras tipo solitón al emplear la interacción de dos haces brillantes coherentes finitos, con la característica de que haya una cierta variación de fase entre los haces, además de una determinada distancia de separación y un cierto ancho de cada haz. De la misma manera, se encontró que al hacer incidir una distribución periódica de intensidad es posible obtener un arreglo de solitones espaciales oscuros, existiendo un rango en el periodo de franjas y en la magnitud del campo externo aplicado.

En la figura 6 se muestran las imágenes de un haz brillante, el cual es guiado a través de uno y dos solitones espaciales oscuros.

4. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente apoyado por CONACYT bajo el proyecto financiado con clave I35610-E, y por el proyecto VIEP, BUAP con clave II22G01.

REFERENCIAS

- [1] Bahaa E.A. Salen, Malvin Carl Teich, *Fundamentals of photonics*, John Wiley & sons, Inc. 1994.
- [2] R.W. Boyd, *Nonlinear Optics*, Academic Press, INC. 1992.
- [3] A. Barthelemy, S. Maneuf and C. Froehly, *Propagation soliton et auto-confinement de faisceaux laser par non linearite optique de Kerr*, Opt. Commun, vol. **55**, pp. 201, (1985)
- [4] D.R. Andersen, D.E. Hooton, G.A. Swartzlander and A.E. Kaplan, *Direct measurement of the transverse velocity of dark spatial solitons*, Opt. Lett., vol. **15**, pp. 783, (1990).
- [5] G.R. Allan, S.K. Skinner, D. R. Andersen and A. L. Smirl, *Observation of fundamental dark spatial solitons in semiconductores using picosecond pulses*, Opt. Lett., vol. **16**, pp. 156, (1991).
- [6] Luther-Davies, B., and X. Yang. Opt. Lett., vol. **17**, pp. 1775, (1992b).
- [7] J.A. Andrade-Lucio, M.M. Méndez-Otero, C.M. Gómez-Sarabia, M.D. Iturbe-Castillo, S. Pérez-Márquez and G.E. Torres-Cisneros, *Controllable optical Y-junctions based on dark spatial solitons generated by holographics mask*, Opt. Commun., vol. **165** pp. 77, (1999).
- [8] G.E. Torres-Cisneros, R.J. Romero Troncoso, J.J. Sánchez-Mondragón y E. Alvarado-Méndez, *Colisión de haces de luz dentro de un material tipo Kerr negativo*, Revista Mexicana de Física, vol. **41** pp. 11, (1995).