



INTERACCIÓN DE PULSOS SOLITONES CON AMPLIFICACIÓN

Guadalupe Quintero Téllez
Facultad de Ciencias Químicas, BUAP
Circunvalación y Río Verde, Ciudad Universitaria
Puebla, Pue. México. CP 72570
mquinter@siu.buap.mx

Erwin Marti Panameño
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, BUAP
Circunvalación y Río Verde, Ciudad Universitaria
Puebla, Pue. México. CP 72570

RESUMEN

La invención del láser abrió la posibilidad de concentrar gran cantidad de energía luminosa en zonas muy pequeñas. Una consecuencia de este hecho fue la aparición de respuestas ópticas no lineales en los materiales de tal manera que éstas no linealidades inducidas por la radiación producen diferentes tipos de fenómenos dependiendo de la situación física particular, tales como la generación de armónicos, efectos paramétricos como amplificación y oscilación paramétrica, dispersión estimulada (Raman, Brillouin, Rayleigh), etc. La investigación de estos fenómenos, llevada a cabo durante las dos últimas décadas, ha proporcionado la base explicativa de las interacciones no lineales con la materia y la aparición de nuevos fenómenos.

Con la introducción de las fibras ópticas en las telecomunicaciones se impulsó la investigación en la óptica no lineal y desde los 80's es común encontrar sistemas en los que la información es transportada por un haz láser, por lo que se realiza un gran esfuerzo en incrementar la capacidad de procesamiento utilizando para ello las interacciones no lineales ultrarrápidas y la posibilidad de procesamiento en paralelo que brindan las señales ópticas.

Los avances logrados en el desarrollo de fibras de bajas pérdidas han revolucionado el campo de las telecomunicaciones y los sistemas de redes basados en fibras son clave en los sistemas de comunicación internacionales. Sin embargo los usos de las fibras se extienden a sensores de fibra óptica, dispositivos y componentes de fibra óptica, amplificadores de fibra óptica y cuyas aplicaciones se realizan en áreas militares, médicas, industriales e investigación científica.

1. INTRODUCCION

El uso de luz para propósitos de comunicación data desde la antigüedad. Muchas civilizaciones usaron señales de fuego y humo para convenir en una pieza de información. En el siglo XVIII se usaron señales con lámparas y banderas. En 1792 se transmiten mensajes codificados a grandes distancias mediante el uso de repetidoras. En terminología actual la razón de bit era menor de 1 bit por segundo ($B < b/s$). La capacidad de un sistema de comunicación se mide a través del producto de razón de bit por la distancia BL

Con la aparición del láser en 1960 y en 1961 la descripción teórica de la fibra monomodo se desarrollan los sistemas de comunicación con fibras ópticas [1]. El progreso de estos sistemas se ha clasificado en cinco generaciones, cada una de ellas operando a determinada longitud de onda, quedando limitadas por la razón de bit y el espaciamiento entre las repetidoras. El espaciamiento entre las repetidoras queda a su vez limitado por las pérdidas de las fibras. La quinta generación de sistemas de comunicación de fibra óptica está en proceso de investigación y desarrollo. Esta generación está basada en solitones ópticos, pulsos ópticos que conservan su forma durante su propagación en una fibra sin pérdidas por la interacción de la dispersión y la no linealidad de la fibra.

Una técnica que se utiliza es la de dopar con elementos de tierras raras a las fibras ópticas con el objetivo de lograr la amplificación de los pulsos. En particular se considera la fibra dopada con erbio por ser este elemento el que presenta mayor amplificación en la región de menores pérdidas de la fibra óptica.

Desde el punto de vista tecnológico, los solitones en fibra óptica son los que han despertado mayor interés dada su



posible aplicación en sistemas de comunicación a grandes distancias y elevado ancho de banda.

En este trabajo se presentan resultados sobre la interacción de solitones en un interferómetro de Saganac de fibra óptica generalizado (ISFOG), donde un ISFOG es un interferómetro de Saganac de fibra óptica que contiene un tramo de fibra óptica dopada con erbio.

2. INTERACCIÓN DE SOLITONES

La aplicación de campos intensos tiene como consecuencia la aparición de respuesta ópticas no lineales en los materiales. Estas no linealidades producen diferentes tipos de fenómenos, en particular se pueden obtener pulsos solitones. La propagación de campos ópticos esta gobernada por las ecuaciones de Maxwell [1]. Un resultado que se obtiene es que el campo eléctrico está dado por la expresión

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \frac{1}{2} \left[\vec{E}(\vec{r}, t) e^{-i\omega_0 t} + c.c. \right]$$

Usando el método de separación de variables, se tiene que

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \frac{1}{2} \left[F(x, y) A(z, t) e^{-i(\beta_0 z - \omega_0 t)} + c.c. \right]$$

donde $A(z, t)$ satisface la ecuación no lineal de Schrödinger ENS [2]

$$\frac{\partial A}{\partial z} + \beta_1 \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{i}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \frac{\alpha}{2} A = i\gamma |A|^2 A$$

Resulta conveniente trabajar la ENS normalizada en el tiempo y espacio, mediante

$$\tau = \frac{T}{T_0}, \quad \xi = \frac{z}{L_D}, \quad U = \frac{A}{P_0^{1/2}}, \quad u = NU,$$

donde T es el tiempo local medido desde el pico del pulso con el ñpico situado en la posición z a lo largo de la trayectoria de propagación, T_0 es el ancho del pulso inicial y L_D es la longitud de dispersión, obteniendose

$$i \frac{\partial u(\xi, \tau)}{\partial \xi} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u(\xi, \tau)}{\partial \tau^2} = i\gamma |u(\xi, \tau)|^2 u(\xi, \tau),$$

cuya solución coresponde a pulsos solitones [3]. El solitón fundamental coresponde a $N = 1$, en este caso la solución se expresa como

$$u(\xi, \tau) = \sec h(\tau) \exp(i\xi/2 + i\varphi).$$

Es necesario introducir el proceso de amplificación por lo que es necesario considera la ecuación de polarización de los iones activos del erbio:

$$\gamma_a \frac{\partial P}{\partial \tau} + (1 + i\gamma_a \Omega) P = A$$

La interacción de solitones con velocidades V_1 y V_2 con una diferencia de fase $\Delta\varphi$ entre ellos y separaciones temporales τ_1 y τ_2 está dada por la ecuación:

$$u(\xi, \tau) = \sec h(\tau - \tau_1) \exp[-iV_1(\tau - \tau_1)] + \sec h(\tau - \tau_2) \exp[-iV_2(\tau - \tau_2) + \Delta\varphi]$$

Los resultados se obtienen mediante la técnica de simulación, esto es, mediante la integración numérica de la ENS conocer vía simulación el comportamiento de solitones que se encuentran en un ISFOG.

3. CONCLUSION

La interacción de dos pulsos solitones se realiza para separaciones temporales cercanas para diferencias de fase relativas de $0, \pi$ y $\pi/2$. Se encuentra que para $\Delta\varphi = 0$ los pulsos interactúan y dan formación a un solo pulso. Para el caso de $\Delta\varphi = \pi$ no presentan interacción y para $\Delta\varphi = \pi/2$ se encuentran que en algunos casos la interacción entre los pulsos es muy compleja sin embargo se encuentra que para dos pulsos con una diferencia temporal de $\Delta\tau = 4$ para valores de las fases iniciales de los solitones φ iguales a 0.8 y -0.8 ambos pulsos presentan el mismo proceso de amplificación, no siendo así para otros valores de φ en los cuales la interacción puede ser tan compleja que permite la formación de un tercer pulso en algunos casos.

4. AGRADECIMIENTOS

Agradezco al CONACYT el apoyo brindado para la realización de este trabajo durante la maestría.

REFERENCIAS

- [1] Jeff Hecht, *City of light: Thr Story of fiber Optics* (Oxford University Press, New York, 1999)
- [2] G.P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics* (Academic Press, san diego CA, 1995)
- [3] G.P. Agrawal, *Fiber-Optic communications Systems* (John Wiley and Sons, inc New York, 1992)

