

Estudio numérico de la propagación dispersiva de pulsos luminosos extremadamente cortos mediante la integración de las ecuaciones de Maxwell en el dominio de frecuencias

E.A. Martí-Panameño

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Apartado postal 1704, 72001 Puebla, Pue., Mexico

e-mail: emarti@cfm.buap.mx

V.A. Vysloukh*

CIICAP, Universidad Autónoma del Estado de Morelos

62210, Cuernavaca, Morelos, Mexico

Recibido el 3 de agosto de 1998; aceptado el 30 de junio de 2000

Presentamos un nuevo algoritmo para la solución numérica de problemas en óptica, para los que la aproximación de variación lenta de las amplitudes no es aplicable. En nuestro método, a partir de la representación espectral de las ecuaciones de Maxwell —sin ningún tipo de aproximación—, obtenemos la matriz de transmisión para la propagación del campo electromagnético en un dieléctrico dispersivo homogéneo; a partir de esta matriz, se construye un algoritmo iterativo para el estudio de la dinámica de interacción lineal de pulsos luminosos extremadamente cortos.

Descriptores: Pulsos luminosos ultra cortos; propagación de pulsos cortos; métodos espectrales; fenómenos ultrarrápidos

A new algorithm for the numerical solution of problem in optics where the slowing varying envelope approximation is not valid, is presented. Starting from the Maxwell equation in the frequency domain, the transmission matrix for the electromagnetic field propagating in a linear dispersive dielectric is obtained without any kind of approximations. We use this algorithm for the study of different phenomena related with ultimate short light pulses propagation.

Keywords: Ultrashort light pulses; optical pulse propagation; spectral methods; Ultrafast phenomena

PACS: 02.70.Hm; 02.60.Cb; 42.25.Bs

1. Introducción

Llamaremos pulsos luminosos extremadamente cortos (PLEC) a aquellos pulsos ópticos cuya duración temporal es equivalente a unos pocos períodos de oscilación del campo electromagnético; es decir, hablamos de perturbaciones ópticas carentes de estructura interna, para las cuales el concepto de envolvente no tiene significado físico. Hacemos notar que un período de oscilación representa la menor duración temporal que puede alcanzar una perturbación electromagnética.

La existencia de paquetes de ondas que contienen solamente algunos períodos de oscilación es bien conocida para frecuencias empleadas en radio y televisión, donde su generación no representa ninguna dificultad. Para el infrarrojo, la generación de pulsos de un período de duración se alcanzó una década atrás, siendo su fuente láseres de CO₂ [1].

En la región espectral del cercano infrarrojo y en el visible, estos pulsos son de gran interés dada su corta duración —unos cuantos femtosegundos—, lo que los hace muy perspectivas en espectroscopía ultrarrápida, detección heterodina del eco fotónico estimulado, así como en nuevas aplicaciones, para las cuales los pulsos de duraciones menores a 10 fs son un requisito indispensable, como es el estudio de dinámicas ultrarrápidas, entre las que mencionamos la generación de armónicos de orden superior, amplificación paramétrica, procesos multifotónicos, etc. [2]

La generación de PLEC en el rango óptico, ha alcanzado grandes éxitos; por ejemplo, en la Ref. 3 se reporta la generación de trenes de pulsos de duraciones (5.0 ± 0.5) fs, con una frecuencia central de 385 MHz.

La generación de pulsos ópticos cada vez más cortos, motiva el desarrollo del apoyo computacional al estudio de la dinámica de propagación, interacción y generación del PLEC. Esta problemática se ha colocado en el centro de atención de varios grupos de investigación, gracias a que el soporte que el experimento numérico presta al estudio de la interacción de los PLEC con la materia, así como en la búsqueda de nuevas regularidades, es una cuestión de gran relevancia para el desarrollo del experimento físico. Desde el punto de vista de la simulación matemática, y naturalmente del cálculo numérico, el problema fundamental reside en el hecho de que a estos pulsos no es aplicable la aproximación de variación lenta de las amplitudes y se debe integrar directamente las ecuaciones de Maxwell con las adecuadas relaciones constitutivas.

Para el análisis de fenómenos relacionados con el comportamiento de PLEC, en los últimos tiempos han aparecido trabajos en donde se presentan diferentes algoritmos para la integración numérica de las ecuaciones de Maxwell, tanto en el caso lineal como en el no lineal. Los primeros algoritmos empleados para el estudio de la propagación de PLEC se tomaron de problemas electromagnéticos en el rango de