
Ejercicio 1: Implementación y análisis de la superposición de ondas armónicas

- i. Desarrollar un programa en *Mathematica Wolfram* (o en otro lenguaje de programación de su elección) que permita calcular y graficar la suma de múltiples ondas armónicas. Específicamente, se requiere:
 - Implementar la suma de, al menos, 3, 4 y hasta 10 ondas armónicas propagándose en el vacío con diferencias de fase arbitrarias.
 - Considerar frecuencias similares y próximas entre sí, con amplitudes que podrán ser iguales o distintas.
 - Representar en una misma gráfica la función resultante en función del tiempo.
 - Extender el programa al caso de un medio material: expresar la diferencia de fase entre ondas en términos de la relación de dispersión y parametrizar esta situación en el código.
- ii. **Comparación entre medios dispersivos y no dispersivos.** Comparar la evolución temporal del paquete de ondas obtenido en (i) en un medio no dispersivo y en un medio dispersivo. Describir las diferencias observadas en la propagación, destacando el ensanchamiento de pulsos y la pérdida de coherencia. Analizar la forma del paquete de ondas resultante determinando la velocidad de fase y la velocidad de grupo en algún material ópticamente transparente a elección. En particular, utilizar la curva de dispersión del índice de refracción $n(\lambda)$ del sílice (SiO_2), disponible en la página refractiveindex.info.
- iii. Incluir además la dispersión de otro material de su elección (por ejemplo, germanio, GaAs, etc.) y comparar cómo la variación del índice de refracción con la longitud de onda modifica la superposición de ondas y la formación del paquete.
- iv. **Paquete gaussiano.** Considerar el caso de un paquete gaussiano de ondas armónicas (en lugar de una suma discreta), centrado en 780 nm en el vacío, con anchos espectrales a mitad de altura (FWHM) de 2, 10 y 50 nm. Analizar cómo cambia la propagación en los medios dispersivos estudiados en los puntos anteriores. Este análisis servirá de transición hacia el estudio de pulsos ultracortos.

Ejercicio 2. Control de Potencia de un láser mediante polarización

Consideremos un láser de Ti:safiro ($\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$) pulsado con las siguientes características:

- Frecuencia de repetición: $f = 1 \text{ kHz}$.
- Longitud de onda central (vacío): $\lambda_0 = 780 \text{ nm}$.
- Duración de pulso (FWHM): $\tau = 120 \text{ fs}$.
- Polarización inicial: lineal.
- Energía por pulso: $E_{\text{pulse}} = 0.5 \text{ mJ}$.

Se desea emplear un *polarizador lineal* en combinación con una *lámina de media onda* (HWP) para ajustar la potencia media transmitida a $P_{\text{out}} = 100 \text{ mW}$

Consigna

- i. Calcular la potencia media incidente del láser a partir de la energía por pulso y la frecuencia de repetición.
- ii. Explicar brevemente qué hace una lámina de media onda (half-wave plate, HWP).
- iii. Dado que la intensidad transmitida por un polarizador depende del ángulo θ entre la dirección de polarización de la luz incidente y el eje del polarizador es

$$I_{\text{out}} = I_{\text{in}} \cos^2 \theta,$$

determine el ángulo θ que debe existir entre la polarización incidente (después de la HWP) y el eje del polarizador para pasar de la potencia calculada en (1) a 100 mW.

- iv. Sabiendo que una HWP rota la dirección de polarización por un ángulo 2φ cuando su eje rápido forma un ángulo φ respecto de la polarización incidente, calcule el ángulo φ que debe formar el eje rápido de la lámina con la polarización inicial.
- v. Proponer un material birefringente adecuado para la HWP a $\lambda = 780 \text{ nm}$, dar índices aproximados ordinario y extraordinario (n_o, n_e) y calcular el espesor d necesario para una retardancia de media onda (retardo $\delta = \pi \text{ rad}$).
- vi. Calcular la potencia pico (aproximación simple) antes y después de la atenuación.
- vii. Indicar cómo colocar físicamente la HWP para obtener la rotación requerida de la polarización y notas prácticas de seguridad.

Ayuda: ¿qué hace una lámina de media onda?

Una lámina de media onda es un elemento birefringente que introduce una diferencia de fase entre las componentes de la onda eléctrica en las direcciones *rápida* y *lenta* del cristal. Si la diferencia de fase es $\delta = \pi$ (media onda), la interacción con una polarización lineal resultará en una rotación del vector de polarización: si el eje rápido forma un ángulo φ respecto a la polarización inicial, la polarización resultante estará rotada 2φ respecto de la original. Por eso la HWP es un rotador de polarización controlable por la orientación de su eje rápido.