

Estudio de los Resonadores Ópticos

JAIME DÍEZ GONZÁLEZ-PARDO

Universidad de Cantabria
Fotónica

13 de Noviembre de 2018

1. INTRODUCCIÓN

Un resonador óptico es un dispositivo que consta de una cavidad sobre la que se incide luz con una cierta frecuencia de tal forma que dicha luz permanece confinada entre sus caras, produciendo una resonancia. El perfil del campo electromagnético en el plano transversal a la dirección de propagación del campo se denomina modo transversal electromagnético (TEM). En dichos modos no se tiene ninguna componente en la dirección de propagación del campo eléctrico o magnético. Si el lado de las superficies en las que se producen la resonancia es mucho menor que la longitud del resonador L , existe una diferencia entre los modos longitudinales de la forma:

$$\Delta\omega_L = \frac{\pi c}{L} \quad (1)$$

Donde c es la velocidad de la luz en el vacío.

La diferencia de frecuencia entre los modos transversales se obtiene mediante la ecuación 2.

$$\Delta\omega_T = \Delta\omega_L \frac{\Delta t_T}{\Delta t_L} \quad (2)$$

Donde Δt_T y Δt_L son los intervalos de tiempo que se dan entre resonancias transversales y longitudinales, respectivamente.

Los resonadores son utilizados en la construcción de los láseres debido precisamente al fenómeno de resonancia, que permite amplificar el campo al pasar varias veces por su medio amplificador, utilizando emisión estimulada. Además, permiten discriminar las frecuen-

cias obtenidas en las propias del láser, debido a que las frecuencias que sufren resonancia vienen dadas por la longitud de la cavidad del resonador.

De esta forma, los láseres permiten obtener emisión en un rango del espectro muy estrecho, generando luz coherente espacial y temporalmente. Idealmente se trata de obtener luz lo más monocromática posible, sin embargo, la emisión de los láseres consta de una cierta anchura espectral $\Delta\lambda$.

Otro ejemplo de resonador óptico es el interferómetro de Fabry-Perot. En este caso el resonador está formado por dos espejos planos en los que se producen múltiples reflexiones, en cada una de ellas parte de la luz se refleja y parte se transmite. En este dispositivo se estudian las interferencias producidas por la luz transmitida, formando un patrón de interferencia. Los máximos de interferencia de dicho patrón corresponde a las frecuencias de resonancia.

En un Fabry-Perot, la condición de máximo viene dada por:

$$2d \cos \theta = m\lambda \quad (3)$$

De esta forma los máximos consecutivos vienen dados por:

$$\lambda = 2\Delta d \quad (4)$$

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para la realización del estudio de los resonadores ópticos se han utilizado diferentes

montajes experimentales en función del objetivo del estudio. A continuación se detallan los diferentes desarrollos experimentales utilizados.

2.1. Frecuencias de Resonancia

Para el estudio de las diferencias de frecuencias de resonancia de los modos longitudinales y transversales se han utilizado dos láseres, uno de ellos abierto de tal forma que funcione como resonador, y otro como fuente. Este último resonador se ha conectado a un osciloscopio que permite identificar los máximos correspondientes a las frecuencias de resonancia y medir las diferencias en tiempo entre dichos máximos.

Dichos máximos corresponden a las diferentes frecuencias que producen resonancia. Esto es debido a que el aumento de temperatura del láser fuente, producido al estar encendido, varía las frecuencias de emisión. Cuando estas frecuencias produzcan resonancia se producirán los máximos en el osciloscopio.

Mediante el osciloscopio se mide las diferencias temporales entre máximos consecutivos correspondientes a modos longitudinales y transversales.

2.2. Modos transversales electromagnéticos

Para el estudio de los modos transversales electromagnéticos (TEM) se han estudiado dichos modos para tres láseres diferentes, utilizando un láser rojo de semiconductor, un láser rojo de gas y un láser azul.

Para cada uno se ha estudiado el perfil del campo utilizando un detector que realiza barridos transversales del haz. Dicho barrido permite obtener información de la distribución del campo electromagnético en el plano XY. Esta información es visualizada en el ordenador utilizando un programa.

2.3. Emisión de láser

Para el estudio de la emisión del láser y la obtención de la anchura espectral se han utilizado los tres láseres del apartado 2.2, haciendo pasar el haz de luz emitido por cada láser por

un monocromador y detectando su intensidad mediante un fotodetector.

Observando para que longitud de onda del monocromador se obtiene el máximo de intensidad se puede obtener el máximo del espectro de emisión. Una vez obtenido esto, se busca la longitud de onda para la cual la intensidad cae a la mitad. La anchura espectral corresponde a la diferencia entre ambas longitudes de onda.

2.4. Fabry-Perot

El interferómetro de Fabry-Perot utilizado ha permitido variar la distancia de los espejos, permitiendo cambiar el patrón de interferencia observado en la pantalla. Como fuente se ha utilizado un láser rojo de longitud de onda desconocida.

Se ha obtenido la diferencia de distancias entre espejos que producen que se pasen de un máximo central a otro.

3. RESULTADOS

3.1. Frecuencias de Resonancia

Se han medido las diferencias temporales entre dos máximos consecutivos correspondientes a modos longitudinales y transversales. Dichos datos se muestran en la Tabla 1.

$\Delta t_L/s$	$\Delta t_T/s$
5.80	2.04
5.72	1.96
5.56	1.92

Tabla 1: Diferencias temporales entre dos máximos consecutivos correspondientes a modos longitudinales $\Delta t_T/s$ y transversales $\Delta t_L/s$.

A partir de estos valores se obtienen los valores medios de los intervalos temporales a partir de los cuales se puede determinar $\Delta\omega_T$ a partir de las ecuaciones 2 y 1.

$$\begin{aligned}\Delta t_T &= 1,97 \pm 0,06s \\ \Delta t_L &= 5,70 \pm 0,12s\end{aligned}\quad (5)$$

$$\begin{aligned}\Delta\omega_T &= 1,086 \cdot 10^9 Hz \\ \Delta\omega_L &= 3,142 \cdot 10^9 Hz\end{aligned}\quad (6)$$

3.2. Modos transversales electromagnéticos

En las figuras 1, 2 y 3 se muestran los perfiles de los modos transversales electromagnéticos obtenidos para el láser rojo de semiconductor, el láser rojo de gas y el láser azul, respectivamente.

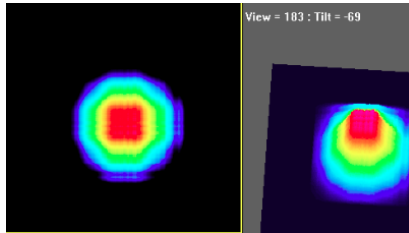


Figura 1: Perfil del modo transversal electromagnético para el láser rojo de semiconductor.

En la Figura 1 se observa un perfil poco claro por lo que no se puede determinar con precisión el modo transversal del que se trata. Esto puede ser debido a que dicho láser se haya recalentado debido al tiempo que llevaba encendido. No obstante, se sabe que debe de tratarse de un TEM_{11}

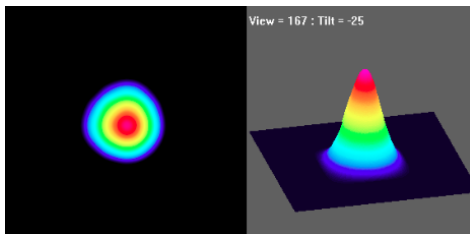


Figura 2: Perfil del modo transversal electromagnético para el láser rojo de gas.

En la Figura 2 se observa claramente el modo TEM_{00} para el láser rojo de gas.

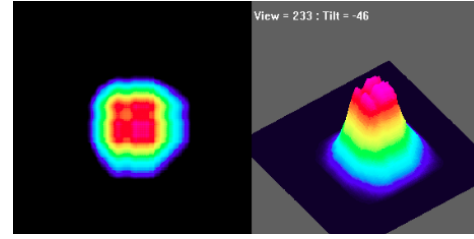


Figura 3: Perfil del modo transversal electromagnético para el láser azul.

En cuanto a la Figura del láser azul 3, parece intuirse un modo TEM_{33} ó un TEM_{43} , pero no se puede determinar con exactitud.

3.3. Emisión de láser

En la Tabla 2 se muestran los datos de la longitud de onda y el valor de la intensidad obtenidos para la máxima intensidad de cada láser.

Láser	$\lambda_{max} \pm 0,2/nm$	$I_{max} \pm 0,5/nW$
Gas Rojo	632.2	85.9
Sem Rojo	662.2	96.0
Azul	407.2	12.7

Tabla 2: Longitud de onda y el valor de la intensidad obtenidos para la máxima intensidad de cada láser.

En la Tabla 3 se muestran los datos de la longitud de onda y el valor de la intensidad obtenidos para la mitad de la máxima intensidad de cada láser.

Láser	$\lambda_{1/2} \pm 0,2/nm$	$I_{1/2} \pm 0,5/nW$
Gas Rojo	633.0	44.0
Sem Rojo	661.0	48.0
Azul	406.0	6.3

Tabla 3: Longitud de onda y el valor de la intensidad obtenidos para la mitad de la máxima intensidad de cada láser.

En la Tabla 4 se muestran las anchuras espectrales obtenidas de la diferencia entre $\Delta\lambda = \lambda_{max} - \lambda_{1/2}$ con los datos de las Tablas 2 y 3.

Láser	$\Delta\lambda / nm$
Gas Rojo	1.6
Sem Rojo	2.4
Azúl	2.4

Tabla 4: Anchuras espectrales obtenidas de la diferencia entre $\Delta\lambda = \lambda_{max} - \lambda_{1/2}$ con los datos de las Tablas 2 y 3.

3.4. Fabry-Perot

Se han realizado las medidas dos veces de la distancia que hay que mover los espejos para obtener dos máximos consecutivos en el centro del patrón de difracción. En la Tabla 5 se muestran dichos datos.

d_1 / mm	d_2 / mm	$\Delta d / mm$	λ / nm
17.18	17.45	0.27	604.8
16.92	16.75	0.17	380.8

Tabla 5: Distancia entre los dos espejos para el primer máximo de interferencia d_1 , la distancia para el segundo máximo de interferencia d_2 , la diferencia entre ambas distancias Δd y la longitud de onda del láser incidente obtenida a partir de la ecuación 4.

A partir de estos datos se puede obtener un valor medio de la longitud de onda del láser incidente.

$$\lambda = 490 \pm 160 nm \quad (7)$$

Se puede observar que dicho valor obtenido para λ no corresponde con los valores esperados para un láser de dichas características (660 – 630 nm). Esto puede deberse a que, al tratarse de distancias tan pequeñas, cualquier fluctuación en el medio puede afectar al patrón de interferencia. De esta forma, uno de los posibles efectos puede ser que no se esté midiendo exactamente la posición para el máximo consecutivo. No obstante, el valor obtenido sí es compatible con los valores esperados debido al gran error obtenido.