

Tema 13.- INTERFERENCIAS (RESUMEN)

• Interferencia de dos ondas luminosas

Cuando dos o más ondas coinciden en el espacio y el tiempo existe una *interferencia*.

Cuando dos ondas de luz monocromática de amplitudes complejas $U_1(\mathbf{r})$ y $U_2(\mathbf{r})$ se superponen, el resultado es una onda monocromática de la misma frecuencia y amplitud compleja $U(\mathbf{r})$ tal que:

$$U(\mathbf{r}) = U_1(\mathbf{r}) + U_2(\mathbf{r})$$

las intensidades de las ondas que se superponen son:

$$I_1 = |U_1(\mathbf{r})|^2 \quad I_2 = |U_2(\mathbf{r})|^2$$

y la intensidad de la onda resultante es:

$$I = |U|^2 = |U_1 + U_2|^2 = |U_1|^2 + |U_2|^2 + U_1^* U_2 + U_1 U_2^*$$

Sustituyendo:

$$U_1(\mathbf{r}) = A_1(\mathbf{r}) \exp[j \phi_1(\mathbf{r})], \quad U_2(\mathbf{r}) = A_2(\mathbf{r}) \exp[j \phi_2(\mathbf{r})]$$

se obtiene:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos$$

siendo:

$$= 1 - 2$$

la *diferencia de fase* entre las dos ondas. La intensidad I de la suma de las dos ondas no es la suma de las intensidades, sino que hay un término adicional debido a la interferencia.

Si $\phi_2 - \phi_1 = 2m\pi$ ($m \in \mathbb{Z}$) la intensidad es máxima y corresponde a la *interferencia constructiva*:

$$I_{\text{máx}} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$$

Si $\phi_2 - \phi_1 = (2m + 1)\pi$ ($m \in \mathbb{Z}$) la intensidad es mínima y corresponde a la *interferencia destructiva*:

$$I_{\text{mín}} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$$

Si las intensidades de las dos ondas que interfieren es idéntica, $I_1 = I_2 = I_0$, entonces:

$$I = 4I_0 \cos^2 \frac{\Delta\phi}{2}$$

La dependencia de la intensidad I con la diferencia de fase permite obtener diferencias de fase midiendo la intensidad de luz. Este principio se utiliza en muchos sistemas ópticos.

Para poder obtener interferencias luminosas es necesario que las ondas que interfieran tengan la misma frecuencia y mantengan una diferencia de fase constante, entonces se dice que las dos fuentes son *coherentes*.

• Experimento de Young de la doble rendija

El experimento de Young de la doble rendija demuestra la naturaleza ondulatoria de la luz, debido a que el diagrama que aparece en la pantalla puede explicarse en términos de la interferencia entre ondas. Las ondas emitidas por las rendijas S_1 y S_2 tienen amplitudes complejas:

$$U_1(\mathbf{r}) = A_1 \exp(-jkr_1), \quad U_2(\mathbf{r}) = A_2 \exp(-jkr_2)$$

donde r_1 y r_2 son las distancias desde cualquier punto P de la pantalla a S_1 y S_2 , respectivamente. La diferencia de fase es:

$$= kr_2 - kr_1 = \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1)$$

De donde:

$$= \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) = 2m\pi \quad \text{interferencia constructiva}$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) = (2m + 1)\pi \quad \text{interferencia destructiva}$$

es decir:

Augusto Beléndez Vázquez

Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal. Universidad de Alicante (2000)

$$r_2 - r_1 = m\lambda \quad \text{interferencia constructiva}$$

$$r_2 - r_1 = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad \text{interferencia destructiva}$$

Si la distancia y medida en el plano de observación así como la separación a de las fuentes S_1 y S_2 son pequeñas comparadas con la distancia d entre el plano de las rendijas y la pantalla de observación:

$$= \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{a}{d} \sin \theta = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{ay}{d}$$

La intensidad resultante en los puntos de la pantalla es:

$$I = I_0 \cos^2 \frac{\pi ay}{d}$$

Los puntos de intensidad máxima (franja brillante) son:

$$y = \frac{m \lambda d}{a}$$

Los puntos de intensidad mínima (franja oscura) son:

$$y = (2m + 1) \frac{\lambda d}{2a}$$

La separación entre dos franjas brillantes consecutivas (*interfranja*) es:

$$y = \frac{\lambda d}{a}$$

Midiendo y , d y a , es posible obtener la longitud de onda λ .

• Interferómetros

Consideremos la interferencia de dos ondas planas de igual intensidad, $I_1 = I_2 = I_0$, propagándose según el eje z , y supongamos que una de ellas está retrasada una distancia d con respecto a la otra de modo que la amplitudes complejas serán: $U_1 = I_0^{1/2} \exp(-jkz)$ y $U_2 = I_0^{1/2} \exp[-jk(z - d)]$. La intensidad resultante I puede determinarse, teniendo en cuenta que la diferencia de fase es $\Delta\phi = kd = 2\pi d/\lambda$, como:

$$I = 2I_0 [1 + \cos \Delta\phi] = 4I_0 \cos^2 \frac{\Delta\phi}{2}$$

Si $d = m \lambda$, con m un entero, se obtiene interferencia constructiva y la intensidad resultante es $I = 4I_0$; sin embargo, si $d = (2m + 1) \lambda/2$, con m un entero, se obtiene interferencia destructiva y la intensidad resultante es nula, $I = 0$.

Un *interferómetro* es un dispositivo óptico que divide una onda incidente en dos ondas utilizando un divisor de haz, produciendo posteriormente un retraso entre las dos ondas haciendo que éstas recorran caminos diferentes. Después, y con la ayuda de espejos, los dos haces se vuelven a combinar utilizando otro divisor de haz, detectándose la intensidad correspondiente a la interferencia de las dos ondas. Ejemplos de interferómetros de doble haz son el *interferómetro de Mach-Zehnder* y el *interferómetro de Michelson*.

• Interferencia en películas delgadas

Si n es el índice de refracción de la película y a su espesor, se tiene para máxima reflexión (mínima transmisión):

$$2an \cos r = \frac{\lambda}{2} (2N - 1)$$

y para máxima transmisión (mínima reflexión):

$$2an \cos r = N\lambda$$

donde r es el ángulo de refracción.