

PRÁCTICA - V

INTERFERENCIAS: MEDIDA DE UNA LONGITUD DE ONDA CON EL BIPRISMA DE FRESNEL

NOTA: Lo primero que debe hacerse al llegar al laboratorio es conectar la lámpara de Na (Sodio) para que tenga tiempo de calentarse y estabilizarse.

1- OBJETIVO Y FUNDAMENTO TEÓRICO

El objetivo de esta práctica es averiguar la longitud de onda λ de un haz de luz cuasi-monocromático emitido por una lámpara espectral de Na. El dispositivo utilizado es una variante del experimento de la doble rendija de Young: el Biprisma de Fresnel. Este es un dispositivo que permite hacer interferir dos haces coherentes que provienen de dos fuentes virtuales, S_1 y S_2 , mediante división de un único frente de onda originado en la fuente real S . Las fuentes S_1 y S_2 son las imágenes de S a través de cada uno de los dos prismas de que se compone el biprisma (no son dos prismas pegados, sino una sola pieza tallada con una cara plana a un lado y dos caras formado un ángulo de $180^\circ - 2\alpha$ por el otro). El esquema del experimento se puede observar en la Figura 1.

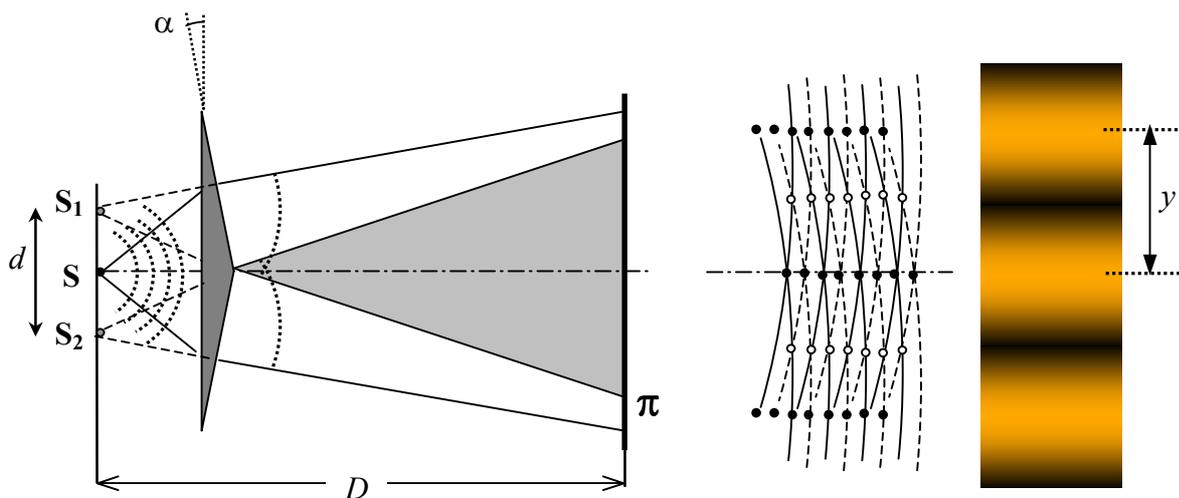


Figura 1. Izda: Vista superior de la configuración de los elementos en el experimento interferencial del biprisma de Fresnel. S indica la fuente (rendija) y S_1 y S_2 indican las posiciones separadas de las rendijas virtuales (separación algo exagerada en el dibujo, típicamente en torno a 1mm). La zona sombreada indica la zona de superposición, donde se pueden observar las franjas interferenciales. La pantalla π se coloca cortando un plano dentro de esa zona. **Centro:** Detalle de la construcción interferencial en el centro de la pantalla. Se separan los frentes de onda separados cada $\lambda/2$ tanto para S_1 como para S_2 . Los puntos negros indican adición constructiva, y los blancos destructiva, lo que produce los máximos y mínimos de intensidad conocidos como franjas interferenciales (**Derecha**)

Si llamamos " d " a la distancia entre rendijas virtuales S_1S_2 , " D " a la distancia desde el plano que contiene a S_1 y S_2 al plano π donde se observa el fenómeno interferencial, y por último " y " a la distancia entre dos franjas de interferencia consecutivas (ya sean de ambas brillantes o ambas de oscuridad, pero no una de cada) a partir de la condición de interferencia se llega fácilmente a la relación

$$y = D\lambda / d \quad \text{ó} \quad \lambda = yd / D$$

que nos permite determinar λ a partir de la medida de y , D , y d .

2- MATERIAL

- Un banco óptico con escala.
- Una rendija de anchura variable.
- Una lámpara espectral de Sodio.
- El Biprisma de Fresnel con soporte regulable.
- Un ocular auxiliar con retículo, en un soporte con micrómetro para medir distancias entre franjas y entre rendijas virtuales, (y y d respectivamente).
- Una lente convergente para determinar la distancia S_1S_2 .
- Un microscopio con retículo para medir la distancia D .

3- ALINEAMIENTO Y PUESTA A PUNTO DEL MONTAJE EXPERIMENTAL

1.-Colocar la lámpara de Na en la posición adecuada para que ilumine convenientemente a la rendija.

2.-Regular de manera aproximada todos los componentes (a simple vista) de modo que estén en un mismo eje longitudinal, a la misma altura y perpendicularmente al eje del banco.

3.-Enfocar el ocular del microscopio, que va encajado en su carcasa, sobre su retículo (aspa en cruz) y tratar de girarlo de manera que quede aproximadamente vertical uno de los hilos. En los sucesivos tener cuidado de no desenfocarlo al realizar las medidas.

4.-Observando con el microscopio, tomar como referencia transversal la rendija. Es decir, desplazando longitudinalmente el microscopio, enfocar sobre la rendija y, conseguida una imagen nítida, moverlo transversalmente y en altura hasta que la imagen de la rendija se vea en el centro del campo de visión. A partir de este momento el microscopio será tomado como referencia transversal y de altura para el centrado más preciso de los otros elementos. Situar entre el microscopio y la rendija, el biprisma de Fresnel (a unos pocos centímetros). Enfoquemos ahora el microscopio sobre el biprisma de manera que veamos nítida la arista de éste, que se observará como una línea vertical clara y nítida. Mover ahora transversalmente el biprisma y angularmente el retículo del microscopio (con la mano) hasta que el hilo vertical del retículo coincida con la línea clara de la arista del biprisma. Esta operación debe hacerse con la mayor precisión posible.

5.-Retirando el biprisma del banco con sumo cuidado, colocar otra vez el microscopio detrás de la rendija. Debe manejarse el microscopio con delicadeza para no perder la referencia con pequeños golpes de contacto. Volver a enfocar el microscopio sobre la rendija y mover ésta angularmente hasta que coincida con el hilo vertical del ocular del microscopio. Repetir los pasos 4 y 5 hasta que rendija y arista estén perfectamente alineados. Apreciase que la rendija gira con movimiento manual (grosero) y con un tornillo (precisión)

6.-Colocar la lente convergente sobre el banco, y moverla transversalmente hasta conseguir que quede aproximadamente centrada con el microscopio (esto se hace a simple vista, sin necesidad de observar por el microscopio, aunque con cuidado de hacerlo lo mejor posible, eso sí). Esto también se podrá hacer más tarde.

7.-Ahora vamos a centrar el ocular con el que observaremos la interferencia. Este ocular permite ver focalizado un retículo (aspa en cruz) muy tenue grabado sobre un delgado vidrio plano. Primero debemos extraer el ocular auxiliar de su alojamiento. Luego debemos enfocar con el microscopio el retículo y mover éste en altura, transversal y angularmente hasta hacerlo coincidir con el retículo del microscopio. Introducir de nuevo el ocular auxiliar en su alojamiento de manera que quede enfocado sobre su retículo.

8.-Una vez hecho este alineamiento, para mayor finura colocar el biprisma y el ocular a continuación de la rendija y alejar el ocular longitudinalmente hasta que las franjas se vean separadas unas de otras. Si no se consigue ver franjas podemos conseguir que se vean (o si se ven, podemos conseguir que se vean con más nitidez), moviendo angularmente la rendija con el ajuste fino, para lo cual primer fijamos el tornillo de fijación superior.

9.-Centrado el ocular auxiliar en una de las franjas centrales, moverlo longitudinalmente de delante hacia atrás hasta conseguir que el retículo se mantenga en esa franja para cualquier posición del ocular. Para conseguirlo variar la franja interferencial seleccionada. (Si esto no se consigue aceptablemente, deberemos mover angularmente el biprisma con la plataforma giratoria hacia el lado necesario y repetirlo varias veces hasta que dicha franja se mantenga siempre en el hilo vertical del ocular. Esto nos obligará a volver a los pasos 4 y 5 de alineamiento transversal)

4- METODO OPERATIVO

Es aconsejable llevar a cabo todo lo que a continuación se indica sin tomar medidas definitivas hasta comprobar que todos los pasos son realizables con la disposición dada a la experiencia.

1.- En lugar de medir directamente la distancia de una franja a la siguiente (interfranja y) vamos a medir la distancia correspondiente a un conjunto de franjas, dividiendo por el número de ellas. Empezaremos por mover el ocular longitudinalmente hasta aproximadamente la mitad del banco. Fijada esta posición, mover el retículo hasta una franja lateral que aún se vea claramente. Anotar la posición transversal del ocular, x_1 , con ayuda del micrómetro de que va dotado. Desplazar el ocular transversalmente hacia la zona central, y seguir hasta el lado opuesto, mientras vamos contando el número de franjas que van pasando por el centro del campo de visión del ocular, " n ".

(Típicamente se ven nítidas entre 10 y 20 franjas) Debemos anotar igualmente la posición transversal final del ocular, \mathbf{x}_2 . Por tanto la anchura de la franja resultará ser

$$y = \frac{|\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2|}{n}$$

Repetir este proceso 6 veces. Calcular \bar{y} y σ_y^2 .

2.-Para calcular la distancia entre las rendijas virtuales tenemos el problema de que no podemos focalizar directamente con un microscopio o un ocular y desplazarnos transversalmente para medir ese desplazamiento con un micrómetro. Y no podemos porque el propio biprisma que crea las imágenes nos impide acercar un instrumento. Debemos idear por tanto una manera de medir esa distancia. Una manera ingeniosa de hacerlo es crear imágenes de esas rendijas con una lente y trabajar sobre estas imágenes que produce la lente. En particular, y puesto que el plano objeto (el de las rendijas \mathbf{S}_1 y \mathbf{S}_2) es fijo, podemos observar sobre otro plano fijo (el del ocular) dejando variar la posición intermedia de la lente hasta que el plano de observación del ocular contenga la imagen real de las rendijas. Según las leyes de la óptica geométrica, para una lente convergente esto ocurrirá para dos posiciones, que son las *posiciones conjugadas* de la lente. (ocurrirá siempre que la distancia entre los planos sea mayor que cuatro veces la distancia focal, por eso era conveniente trabajar con un ocular un tanto lejano). Es fácil comprobar que en una posición el aumento producido es inverso al producido en la otra. Si llamamos “ a ” a la distancia de la lente a las rendijas virtuales, $(D-a)$ será la distancia de la lente a las imágenes. Llamamos \mathbf{L}_1 y \mathbf{L}_2 a la separación entre las rendijas imagen en el plano π , para la primera y segunda posición de la lente respectivamente. Se tiene entonces:

$$1^{\text{a}} \text{ posición: Aumento (módulo): } \mathbf{L}_1 / d = (D - a) / a$$

$$2^{\text{a}} \text{ posición: Aumento (módulo): } \mathbf{L}_2 / d = a / (D - a)$$

$$\text{Y de las dos anteriores obtenemos: } d = \sqrt{\mathbf{L}_1 \mathbf{L}_2} \quad \leftarrow (\text{Eq.1})$$

Esto nos da la base para el procedimiento que sigue: Sin modificar la posición longitudinal del ocular, colocar la lente entre el biprisma y el ocular. Moviendo longitudinalmente la lente, buscar sus dos posiciones conjugadas para las cuales las imágenes de las rendijas virtuales \mathbf{S}_1 y \mathbf{S}_2 se forman en el plano focal del ocular. Para cada una de esas posiciones deberemos medir \mathbf{L}_1 y \mathbf{L}_2 , moviendo el ocular transversalmente, y midiendo los desplazamientos en el micrómetro del ocular. A partir de la medida de \mathbf{L}_1 y \mathbf{L}_2 obtenemos d a partir de la Eq.1. Repetir este proceso 6 veces. Calcular \bar{d} y σ_d^2 .

3.- Sólo queda la medida de D . Quitar la lente. Sin modificar la posición longitudinal del ocular auxiliar, extraer éste de su alojamiento y enfocar su retículo con el microscopio (a veces es preciso ayudarse de la linterna para conseguirlo). Anotar la posición longitudinal del microscopio en la regla del banco con el nonius del pie (precisión: décimas de mm). Ahora ya podemos quitar y el biprisma del banco. Trasladar el microscopio y enfocar con él la rendija \mathbf{S} (que está aproximadamente en el mismo plano que las rendijas \mathbf{S}_1 y \mathbf{S}_2 , ver Fig.1). Tomar la nueva posición del microscopio. La diferencia entre las dos lecturas anteriores nos proporciona el valor de D . Repetir el proceso 6 veces. Calcular \bar{D} y σ_D^2 .

4.- Calcular $\lambda = \frac{\bar{y}\bar{d}}{\bar{D}}$.

5.- Calcular el error cometido en la determinación de λ , σ_λ utilizando la ley de propagación de errores:

$$\sigma_\lambda = \left[\left(\frac{\partial \lambda}{\partial y} \right)_{\bar{y}, \bar{d}, \bar{D}}^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial d} \right)_{\bar{y}, \bar{d}, \bar{D}}^2 \sigma_d^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial D} \right)_{\bar{y}, \bar{d}, \bar{D}}^2 \sigma_D^2 \right]^{1/2}$$

5- CUESTIONES

- 1.-Puesto que medimos una longitud de onda, ¿Crees que es esta una buena técnica espectroscópica?
- 2.-¿Por qué se deja la medida de D para el final?
- 3.-Confirma que la eq.1 se deduce de las dos anteriores ¿Sabrías deducir esas dos anteriores a partir de las leyes de la óptica geométrica?
- 4.-Se podría hacer la práctica formando una interferencia mucho más cercana al biprisma, incluso disponiendo de la misma lente auxiliar convergente para el calculo de d . ¿Cómo?
- 5.-¿Por qué crees que se dejan de observar las interferencias cuando nos desplazamos transversalmente en el plano de observación?