Práctica 4: Biprisma de Fresnel

29/10/2025

Universidad de Granada, Facultad de Ciencias

Grado en Físicas

Óptica I

UNIVERSIDAD
DE GRANADA

Jorge del Rio López
Paula Roca Gómez

P5

Índice

Capítulos **Página**

1 Resultados **2**

2 Conclusiones **3**

3 Agradecimientos **3**

4 Apéndices **4**

4.1 A1: Cálculo de incertidumbres 4
4.1.1 Sensibilidad de los instrumentos 4
4.1.2 Cálculo de la desviación estándar 4
4.1.3 Incertidumbre tipo A 4
4.1.4 Incertidumbre tipo B 4
4.1.5 Incertidumbre Combinada 4
4.1.6 Incertidumbre debida a medida indirecta 4
4.1.7 Incertidumbre por cambio de unidades 5
4.1.8 Incertidumbre de d 5
4.1.9 Incertidumbre de λ 5
4.1.10 Incertidumbre de D 5
4.2 A2: Procedimientos 5
4.2.1 Error Relativo 5
4.3 Datos sin tratar 5

Resumen

En la práctica del biprisma de Fresnel, se generaron y analizaron franjas de interferencia utilizando una fuente puntual de luz y el biprisma para obtener dos focos coherentes. Se midió la distancia entre franjas y se estudió el contraste de la interferencia según las condiciones de coherencia espacial para poder obtener el valor de la longitud de onda emitida. Además, se aplicó el método de Bessel para estimar la separación efectiva de las fuentes virtuales desde dos posiciones simétricas, reforzando la validez geométrica del procedimiento.

1. Resultados

Tras configurar el sistema óptico según el esquema propuesto en el guión de prácticas [1], comenzamos midiendo la separación entre tres franjas consecutivas. Para reducir el error al comparar posiciones individuales se toma $s = x_{k+3} - x_k$, abarcando tres interfranjas y disminuyendo el efecto de error de lectura en cada borde. Aquí x_i es la posición de la i-ésima franja medida con el micrómetro.

Los valores medidos se muestran en la siguiente tabla:

s (mm)
3,020
3,010
3,070

Cuadro 1: Medidas de s (mm), con incertidumbre $u_s = 0{,}01\,\text{mm}$

Con estos datos, obtenemos el valor promedio de $s = 3,03 \pm 0,02\,\text{mm}$. La desviación estándar de las tres medidas es $\sigma \approx 0,032\,\text{mm}$, esto nos da un CV $= 1{,}05\,\%$,por lo que consideramos que tres medidas son suficientes para este caso (más repeticiones apenas reducirían u_A). Obsérvese que en la expresión posterior de la longitud de onda aparece un factor 3 en el denominador: proviene de que s incluye tres espaciamientos, de modo que la interfranja individual es $s/3$.

Posteriormente, introducimos en el sistema una lente y buscamos las posiciones de Bessel, es decir, aquellas en las que la imagen de las dos fuentes virtuales se observa nítida y simétrica respecto al eje óptico. Estas posiciones, separadas alrededor del enfoque medio, permiten construir una relación que elimina la dependencia explícita objeto-imagen. Anotamos las distancias entre rendijas en cada una de las dos posiciones de Bessel estudiadas, d'_1 y d'_2, de las cuales d'_1 corresponde a la primera posición (más cercana). Los signos negativos reflejan la convención de origen del vernier y no implican distancia física negativa. En la siguiente tabla se muestran los valores medidos.

Medidas posición Bessel d'_1 (mm)	**Medidas posición Bessel d'_2 (mm)**
-0,35	-3,54
-0,34	-3,55
-0,40	-3,55

Cuadro 2: Medidas de las interfranjas obtenidas para las posiciones de Bessel: d'_1 (mm) y d'_2 (mm). La incertidumbre en ambos casos es $u_{d'} = 0{,}01\,\text{mm}$

A partir de estos valores, podemos promediarlos para obtener $d'_2 = -3,55 \pm 0,01\,\text{mm}$ y $d'_1 = -0,36 \pm 0,02\,\text{mm}$. Las dispersiones muestrales son $\sigma(d'_1) \approx 0,032\,\text{mm}$ y $\sigma(d'_2) \approx 0,006\,\text{mm}$, suficientemente pequeñas como para justificar el uso de tres medidas. El uso de las dos posiciones de Bessel permite derivar una separación efectiva independiente de la elección exacta del plano de observación mediante la combinación simétrica siguiente.

Con estos datos, podemos calcular la distancia d como (relación clásica de Bessel para dos posiciones conjugadas):

$$d = \sqrt{d'_1 d'_2} \tag{1}$$

y hallamos $d = 1,14 \pm 0,03\,\text{mm}$. Esta forma $d = \sqrt{d'_1 d'_2}$ surge de igualar las expresiones de aumento lateral en cada posición conjugada y eliminar las distancias objeto e imagen.

Con los datos de las interfranjas en las posiciones de Bessel y sabiendo que la distancia focal del biprisma utilizado es de $f' = 15$ (cm), calculamos la distancia de las fuentes al lugar de interferencia, D. Esta variable guarda la siguiente relación con las demás, obtenida de la geometría de rayos y semejanza de triángulos:

$$D = f' \left(2 - \frac{d^2 + {d'_1}^2}{d\, d'_1} \right) \tag{2}$$

Tras operar con estos valores, se obtiene $D = 817 \pm 12\,\text{mm}$.

En este momento podemos calcular la longitud de onda de la fuente utilizada mediante la expresión

$$\lambda = \frac{d\, s}{3D} \tag{3}$$

Con los valores experimentales medidos, encontramos que la longitud de onda calculada es $\lambda = 1410 \pm 40\,\text{nm}$.[1]

El valor teórico de la longitud de onda para la lámpara de sodio utilizada es de 589,3 (nm) [1], por lo que el valor obtenido experimentalmente no concuerda con el valor teórico esperado, lo que nos da un error relativo de $\epsilon_R = 138\,\%$. Este desvío tan amplio sugiere errores sistemáticos dominantes más allá de la mera dispersión estadística.

El error puede deberse a varios factores, entre ellos:

1. (i) Dificultad de fijar el centro de cada franja (gradiente de intensidad)
2. (ii) Ligeras desalineaciones angulares que sesgan d y D
3. (iii) Posible variación espectral o térmica de la lámpara durante la toma de datos
4. (iv) Interpretación de la escala con signos negativos

2. Conclusiones

Aunque finalmente no hemos conseguido un valor de la longitud de onda cercano al teórico, hemos podido observar y analizar el fenómeno de interferencia utilizando el biprisma de Fresnel. La práctica nos ha permitido comprender mejor los conceptos de coherencia espacial y la formación de franjas de interferencia, así como la importancia de la precisión en las mediciones experimentales.

3. Agradecimientos

Nos gustaría agradecer al Departamento de Óptica de la Universidad de Granada por proporcionarnos los medios y el material necesarios para llevar a cabo esta práctica, así como a nuestro profesor por su guía y apoyo durante el desarrollo de la misma.

[1] La incertidumbre del valor de λ se compone del cálculo para determinarla en mm y de su posterior conversión a nm.

4. Apéndices

4.1. A1: Cálculo de incertidumbres

4.1.1. Sensibilidad de los instrumentos

En los cálculos se ha considerado la sensibilidad (resolución) de los instrumentos empleados:

- Micrómetro para s y $d'_{1,2}$: $\delta = 0{,}01\,\mathrm{mm}$ (incertidumbre tipo B asociada $u_B = \delta/\sqrt{12} \approx 0{,}003\,\mathrm{mm}$).
- Distancia focal f' del sistema: se ha tratado como dato sin incertidumbre

4.1.2. Cálculo de la desviación estándar

La desviación estándar se utilizará para el cálculo de la incertidumbre tipo A; su expresión es:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2} \tag{4}$$

4.1.3. Incertidumbre tipo A

La incertidumbre tipo A se evalúa mediante análisis estadístico de datos repetidos, basada en su dispersión o desviación estándar, para lograr dar un valor que se asemeje lo máximo posible al real; su expresión es la siguiente:

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \tag{5}$$

donde s es la desviación estándar y n el número de medidas realizadas.

4.1.4. Incertidumbre tipo B

La incertidumbre tipo B se debe al error que ocasiona medir con instrumentos inexactos; se calcula a partir de la resolución (δ) del instrumento utilizado:

$$u_B = \frac{\delta}{\sqrt{12}} \tag{6}$$

4.1.5. Incertidumbre Combinada

Tras obtener la incertidumbre tipo A y la tipo B, debemos combinarlas para dar un valor concreto de incertidumbre; se calcula de la siguiente forma:

$$u_C = \sqrt{(u_A)^2 \ + \ (u_B)^2} \tag{7}$$

4.1.6. Incertidumbre debida a medida indirecta

Dado que usaremos este tipo de incertidumbre en varias ocasiones, la dejaremos aquí definida para evitar tener que repetir el proceso cada vez. Sea $f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ una función con n variables; la incertidumbre de esta función se calcula mediante la propagación de incertidumbres, y obtenemos la siguiente expresión:

$$\boxed{u_C(f(x_1, x_2, \ldots, x_n)) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \ u_C(x_i)^2}} \tag{8}$$

Donde $\dfrac{\partial f}{\partial x_i}$ es la derivada parcial de f respecto a la variable x_i, y $u_C(x_i)$ es la incertidumbre combinada de la variable x_i. Este cálculo nos proporciona la incertidumbre de una función que depende de varias variables, teniendo en cuenta las incertidumbres individuales de cada variable.

4.1.7. Incertidumbre por cambio de unidades

Esta incertidumbre la emplearemos cuando un valor se encuentre en unidades distintas a las del SI. Se calcula mediante propagación de incertidumbres, considerando la función $f(x) = \frac{x}{K}$, con K una constante real. Entonces, $u_C(f(x)) = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x)}{\partial x}\right)^2 u_C(x)^2}$, y como $\frac{\partial f(x)}{\partial x} = \frac{1}{K}$, finalmente obtenemos:

$$\boxed{u_C(f(x)) = \frac{u_C(x)}{K}} \tag{9}$$

4.1.8. Incertidumbre de d

Para calcular la incertidumbre de $d = \sqrt{d_1' d_2'}$, aplicamos la fórmula de propagación de incertidumbres, y calculamos las derivadas parciales correspondientes, obteniendo:

$$\boxed{u_C(d) = \frac{d}{2}\sqrt{\left(\frac{u_C(d_1')}{d_1'}\right)^2 + \left(\frac{u_C(d_2')}{d_2'}\right)^2}} \tag{10}$$

4.1.9. Incertidumbre de λ

Para calcular la incertidumbre de $\lambda = \frac{d\ s}{3D}$, aplicamos la fórmula de propagación de incertidumbres, y calculamos las derivadas parciales correspondientes, obteniendo:

$$\boxed{u_C(\lambda) = \frac{sd}{3D}\sqrt{(\frac{u_C(s)}{s})^2 + (\frac{u_C(d)}{d})^2 + (\frac{u_C(D)}{D})^2}} \tag{11}$$

4.1.10. Incertidumbre de D

Para calcular la incertidumbre de $D = f'\left(2 - \frac{d^2 + {d_1'}^2}{d\, d_1'}\right)$, aplicamos la fórmula de propagación de incertidumbres, y calculamos las derivadas parciales correspondientes, obteniendo:

$$\boxed{u_C(D) = f'\sqrt{(u_C(d))^2\ \left(\frac{d_1'}{d^2} - \frac{1}{d_1'}\right)^2 + (u_C(d_1'))^2\ \left(\frac{d}{(d_1')^2} - \frac{1}{d}\right)^2}} \tag{12}$$

4.2. A2: Procedimientos

4.2.1. Error Relativo

El error relativo mide la precisión de una medición comparándola con el valor real. Se expresa como la diferencia entre el valor medido y el real, dividida por el valor real, generalmente en porcentaje. Es útil en informes científicos porque permite comparar la precisión de distintos experimentos, independientemente de la magnitud de los valores. Un error relativo bajo indica mayor exactitud, mientras que uno alto sugiere una mayor desviación.

$$\epsilon_R = \frac{|v_{ter} - v_{re}|}{v_{te}} \tag{13}$$

4.3. Datos sin tratar

En esta sección se incluyen los datos sin tratar obtenidos durante la práctica, antes de cualquier análisis o procesamiento.

Medidas S				
	Inicio	**Vueltas**	**Final**	**Medida (mm)**
	44	6	46	3,02
	46	6	45	3,01
	45	6	38	3,07
Medidas Franjas Cerca $d'1$				
	Inicio	**Vueltas**	**Final**	**Medida (mm)**
	41	7	45	-3,54
	37	7	32	-3,55
	27	7	32	-3,55
Medidas Franjas Lejos $d'2$				
	Inicio	**Vueltas**	**Final**	**Medida (mm)**
	8	0	43	-0,35
	10	0	44	-0,34
	44	0	4	-0,40

Cuadro 3: Datos experimentales medidos en el laboratorio de óptica.

Referencias

[1] Departamento de Óptica. Universidad de Granada. *Bisprisma de Fresnel*.