

Interferències de Young: Biprisma de Fresnel

Ben Thomas, Jan Tena

22 de gener de 2026

Resum

En aquesta pràctica s'exploraran les interferències de Young utilitzant el biprisma de Fresnel, un dispositiu òptic format per dos prismes de petit angle units per la base. Aquest dispositiu permet obtenir interferències similars a les produïdes per dues escletxes coherents, a partir d'una única escletxa il·luminada amb llum monocromàtica. Les franges d'interferència observades són el resultat de la superposició de les ones lluminoses emeses per les dues imatges virtuals de l'escletxa, creades pel biprisma.

L'objectiu principal és determinar la longitud d'ona de la llum emprada a partir de la mesura experimental de la separació entre les franges (interfranja), la distància entre les imatges virtuals de l'escletxa i la distància entre aquesta i el pla d'observació.

En aquesta pràctica hem obtingut un valor experimental per a la longitud d'ona de la llum emesa per la làmpada de sodi de $\lambda = 576 \pm 8$ nm, que presenta una petita discrepància respecte al valor teòric de 589nm, que podem atribuir als errors experimentals com veurem a continuació.

1 Longitud d'ona de la làmpada de Na

Per a fer la mesura de la longitud d'ona emesa per la làmpada de sodi, s'utilitzarà la relació teòrica de les interferències de Young:

$$\Delta x = \lambda \frac{D}{d} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \Delta x \frac{d}{D} \quad (1)$$

on:

- Δx és la interfranja (la distància entre màxims o mínims consecutius)
- D és la distància entre l'escletxa i el pla d'observació
- d és la separació entre les imatges virtuals de l'escletxa generades pel biprisma
- λ és la longitud d'ona que volem determinar.

En primer lloc, es mesurarà experimentalment Δx utilitzant l'ocular amb reticle mòbil, calculant la mitjana a partir de diverses franges per reduir l'error. A continuació, es determinarà d col·locant una lent auxiliar entre el biprisma i l'ocular i observant la separació entre les imatges de l'escletxa en dues posicions diferents. Finalment, es mesurarà D utilitzant un microscopi de banc per obtenir la distància entre l'escletxa i el reticle de l'ocular.

Amb aquests valors, es calcularà la longitud d'ona λ aplicant la fórmula i es compararà amb els valors teòrics del doblet de la làmpada de sodi ($\lambda_{D1} = 5895.9$ Å i $\lambda_{D2} = 5890$ Å), tot considerant la propagació d'errors.

1.1 Mesura de la interfranja Δx

Per mesurar Δx , la distància entre franges consecutives d'interferència, s'ha utilitzat l'ocular amb un reticle mòbil situat en el pla d'observació. El procediment consisteix a identificar i mesurar la separació entre un grup de franges, comptant des de la primera fins a l'última del grup, i dividint aquesta distància pel nombre de franges considerades. Això permet obtenir un valor més precís per a Δx , minimitzant l'error associat a les mesures:

$$\delta x = \frac{|p_2 - p_1|}{n}$$

Definint la diferència entre posicions $\Delta p = p_2 - p_1$ i assumint sempre $p_2 > p_1$ (per mantindre la diferència positiva), la incertesa $\delta\Delta p$ ve donada per la suma d'incerteses de les posicions individuals, es a dir les del micròmetre δm . D'aquesta manera $\delta\Delta p = 2\delta m$:

$$\delta\Delta x = \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial\Delta p} \left[\frac{\Delta p}{n}\right] \delta\Delta p\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial n} \left[\frac{\Delta p}{n}\right] \delta n\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2\delta m}{n}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p \delta n}{n^2}\right)^2}$$

$$p_2 = 10.935 \text{ mm} \quad p_1 = 0.550 \text{ mm} \quad n = 32 \quad \Delta x = 0.325 \pm 0.001 \text{ mm}$$

1.2 Mesura de la separació d entre les imatges de l'escletxa

Per mesurar la separació d entre les imatges virtuals de l'escletxa creada pel biprisma, s'ha utilitzat una lent auxiliar col·locada entre el biprisma i l'ocular. La lent s'ha desplaçat fins a trobar dues posicions on les imatges duplicades de l'escletxa es veien nítidament a través de l'ocular, que es mantenia fix.

En cadascuna d'aquestes posicions de la lent, s'ha registrat la separació entre les imatges (d_1 i d_2) mitjançant el reticle de l'ocular. Posteriorment, la separació d s'ha calculat com:

$$d = \sqrt{d_1 d_2}$$

La propagació d'incerteses com:

$$\delta d = \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial d_1} \left[\sqrt{d_1 d_2}\right] \delta d_1\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial d_2} \left[\sqrt{d_1 d_2}\right] \delta d_2\right)^2}$$

Sabent que la incertesa $\delta d_1 = \delta d_2 = 2\delta m$ ja que aquestes venen donades per la resolució del micròmetre:

$$\delta d = 2\delta m \sqrt{\left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{d_1}{d_2}}\right)^2} = \delta m \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2}{d_1 d_2}}$$

$$d_1 = 2.250 \text{ mm} \quad d_2 = 0.781 \text{ mm} \quad d = 1.326 \pm 0.002 \text{ mm}$$

1.3 Mesura de la distància D entre l'escletxa i el pla d'observació a l'ocular

La distància D entre l'escletxa i el pla d'observació (on es troba el reticle de l'ocular) s'ha determinat utilitzant un microscopi de banc. Primer, s'ha enfocat l'escletxa col·locant el microscopi al lloc de la làmpada i registrant la seva posició en l'escala del banc òptic (L_A). A continuació, s'ha desplaçat el microscopi fins a enfocar el reticle de l'ocular i s'ha anotat aquesta nova posició (L_B).

La distància D s'ha calculat com la diferència entre aquestes dues lectures:

$$D = L_B - L_A$$

Obtenint un resultat final de:

$$D = 74,7 \text{ cm}$$

Aquest procediment assegura una mesura precisa, ja que s'eliminen els errors associats a les posicions relatives dels components del muntatge experimental.

La incertesa en les mesures de D , són les de l'escala del regle que hi ha al laboratori (δM) sumat amb la zona sobre la qual creiem que estan enfocades les escletxes. Aquest últim efecte és quasi menyspreable, ja que vam comprovar que és extremadament sensible a petites pertorbacions.

$$\delta D = 2\delta M = 0.2 \text{ cm}$$

De manera que, finalment, utilitzant les expressions anteriorment calculades, la incertesa de la longitud d'ona mesurada:

$$\delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial\Delta x}\left[\Delta x\frac{d}{D}\right]\delta\Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial d}\left[\Delta x\frac{d}{D}\right]\delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial D}\left[\Delta x\frac{d}{D}\right]\delta D\right)^2}$$

$$\delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{d}{D}\delta\Delta x\right)^2 + \left(\frac{\Delta x}{D}\delta d\right)^2 + \left(\frac{d\Delta x}{D^2}\delta D\right)^2}$$

El valor final calculat de λ amb la seva incertesa $\delta\lambda$ és:

$$\lambda = 576 \pm 8 \text{ nm}$$

1.4 Comparació dels valors experimentals amb els teòrics

En aquesta pràctica, hem obtingut un valor experimental per a la longitud d'ona de la llum emesa per la làmpada de sodi de $\lambda = 576 \pm 8 \text{ nm}$. El valor teòric esperat per la longitud d'ona del doblet de la làmpada de sodi és $\lambda_{D1} = 589.6 \text{ nm}$ i $\lambda_{D2} = 589 \text{ nm}$.

Tot i que el valor experimental no arriba a incloure el teòric dins del seu interval d'error, la discrepància entre els valors és menor que dues vegades l'error. Això indica que la diferència és relativament petita i pot ser atribuïda a factors experimentals, com errors sistemàtics en les mesures de d , D o Δx , o a petites desviacions en el muntatge.

$$|\lambda_{D1\text{teòric}} - \lambda_{\text{calculat}}| = 14 \text{ nm} < 2\delta\lambda \quad |\lambda_{D2\text{teòric}} - \lambda_{\text{calculat}}| = 13 \text{ nm} < 2\delta\lambda$$

Per tant, encara que hi ha una lleugera discrepància, el resultat experimental es pot considerar raonablement proper al valor teòric.

1.5 Error en el recompte de franges

El més probable és que la discrepancia de la longitud d'ona vingui del fet que ens haguem descomptat en alguna franja, afectant al resultat de Δx . A continuació veurem l'efecte de descomptar-se d'una franja en el càlcul de Δx :

$$\text{Error en } \Delta x_+ = \frac{L}{n} - \frac{L}{n+1} = \frac{L}{n(n+1)}$$

Afectant directament en el valor de la longitud d'ona com:

$$\text{Error en } \lambda_+ = \frac{L \cdot d}{D \cdot n} - \frac{L \cdot d}{D \cdot (n+1)} = \frac{L \cdot d}{D} \cdot \frac{1}{n(n+1)}$$

Aquesta expressió es dóna per el cas en que haguem comptat una de més. L'expressió per si es comptés una de menys seria:

$$\text{Error en } \lambda_- = \frac{L \cdot d}{D} \cdot \frac{-1}{n(n-1)}$$

En el nostre cas, coneixent els valors de d , D , L i n , obtindríem uns errors de:

$$\text{Error en } \lambda_+ = 17.46 \text{ nm} \quad \text{Error en } \lambda_- = -18.58 \text{ nm}$$

2 Efecte de l'amplada de l'escletxa

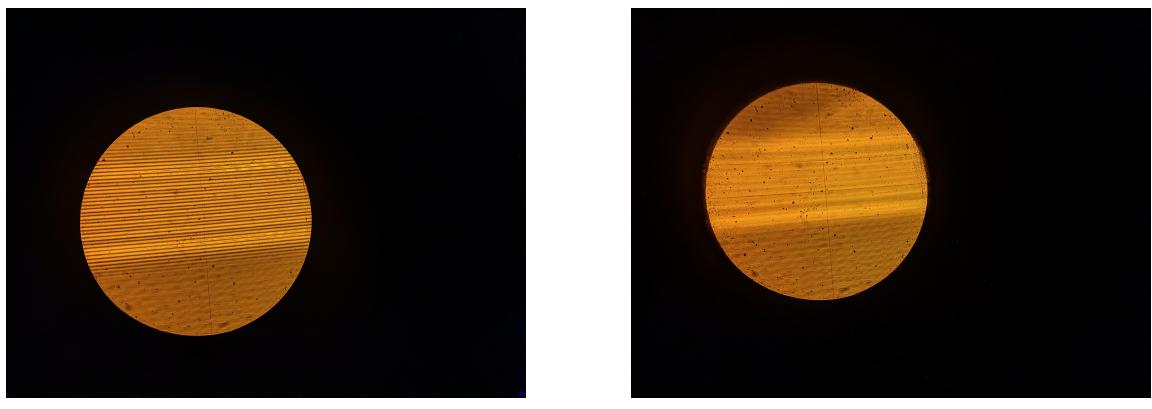
Quan augmentem l'amplada de l'escletxa, el feix de llum que incideix sobre el biprisma de Fresnel conté una gamma més àmplia d'angles d'incidència, degut a la major diversitat de camins òptics que la llum pot seguir. Això afecta la coherència de la llum que emergeix de les dues imatges virtuals de l'escletxa (E_1 i E_2), ja que no totes les parts del feix seran completament coherents. Com a resultat, les franges d'interferència es tornen menys nítides i més difuses.

Quan l'amplada de l'escletxa arriba a un cert límit, la coherència es perd completament, ja que les contribucions de diferents parts del feix es desfasen mútuament. A més, tenim un cert límit on obtenim aquestes interferències. Això provoca que les franges desapareguin completament, deixant una il·luminació uniforme al pla d'observació.

Tot i això, la separació entre les franges (Δx) no varia amb l'amplada de l'escletxa. Això és degut a que Δx depèn únicament de factors geomètrics i físics que es mantenen constants, com la longitud d'ona de la llum (λ), la separació entre les imatges virtuals de l'escletxa (d), i la distància entre l'escletxa i el pla d'observació (D):

$$\Delta x = \lambda \frac{D}{d}$$

Aquesta expressió no inclou l'amplada de l'escletxa, per la qual cosa l'amplada no afecta el valor de Δx . Per tant, mentre les franges poden perdre nitidesa, la seva separació es manté constant.



(a) Escletxa en la posició de màxim contrast

(b) Escletxa més oberta

Figura 1: Fotografies de les interferències per diferents apertures de l'escletxa

3 Observació de les franges d'interferència amb llum blanca

Quan s'utilitza una font de llum blanca en lloc de llum monocromàtica, les franges d'interferència presenten un comportament diferent degut a la naturalesa espectral de la llum blanca. Aquesta està composta per una gamma contínua de longituds d'ona que inclou totes les components visibles.

Al centre del patró d'interferència (prop del punt d'interferència màxima), s'observa una franja blanca nítida, ja que totes les longituds d'ona contribueixen constructivament en aquest punt. Aquesta franja indica el punt on totes les longituds d'ona tenen màxims coincidents, resultant en una superposició constructiva per a tota la llum visible.

Si ens allunyem del centre, les franges es tornen acolorides. Això es deu al fet que diferents longituds d'ona interfereixen constructivament o destructivament en diferents punts, produint franges amb colors específics. La separació de colors en les franges laterals és una conseqüència de la dispersió de les diferents longituds d'ona. Cada color correspon a una longitud d'ona diferent, amb una interfranja pròpia.

Les franges acolorides es difuminen i desapareixen a mesura que ens allunyem més del centre. Això succeeix perquè les diferents components espectrals de la llum blanca tenen interfranges diferents

$(\Delta x \text{ depèn de } \lambda)$, i les interferències acaben superposant-se de manera incoherent. La superposició incoherent de les diferents longituds d'ona produueix una il·luminació uniforme a les zones llunyanes del patró.

Les franges obtingudes amb llum blanca evidencien que el patró d'interferència depèn fortament de la coherència de la font de llum. Mentre que la llum monocromàtica produceix franges nítides i ben definides a tot arreu, la llum blanca genera un patró més complex, amb franges acolorides que es tornen difuses i desapareixen amb la distància al centre. Això mostra com les propietats espectrals de la llum afecten els fenòmens d'interferència.

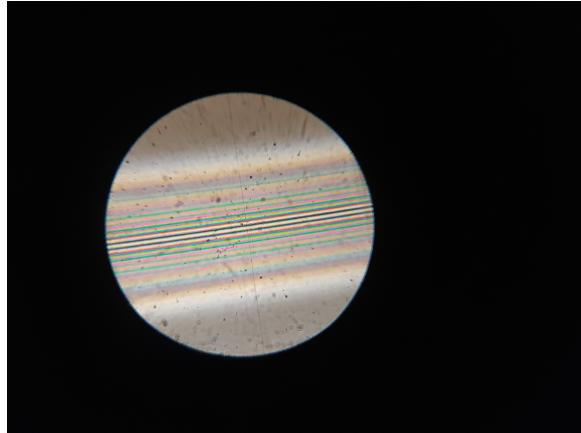


Figura 2: Interferències per la llum blanca

4 Conclusions

En aquesta pràctica hem determinat experimentalment la longitud d'ona de la llum emesa per una làmpada de sodi utilitzant les interferències de Young generades pel biprisma de Fresnel. Hem obtingut un valor de $\lambda = 576 \pm 8 \text{ nm}$, que, tot i presentar una lleugera discrepància respecte al valor teòric esperat (589 nm), es troba dins d'un marge acceptable considerant els errors experimentals.

A més, s'ha observat que l'amplada de l'escletxa afecta la nitidesa de les franges, però no la seva separació (Δx), i que l'ús de llum blanca genera franges acolorides que es difuminen amb la distància al centre del patró. Aquests resultats confirmen els principis teòrics de la interferència.