



Difracción de Fraunhofer

**Técnicas Experimentais III
(Laboratorio de Óptica)
Grao en Física**

A. OBXECTIVO XERAL

Observación e análise das figuras de difracción producidas por obstáculos/aberturas.

B. TAREFAS A REALIZAR

1. Cálculo da anchura dunha fenda e dunha abertura rectangular mediante a medida da súa figura de difracción.
2. Observación de patróns de Airy e da "mancha de Poisson".

C. RESULTADOS A PRESENTAR

Os resultados a presentar son que se describen no anexo 1.

D. MATERIAL DISPOÑIBLE

Fonte de luz (láser de He-Ne emitindo en 632.8 nm) / Placa con fendas / Placa con aberturas rectangulares / Lámina de aluminio / Alfinete / Bastidor de diapositivas / Placa de vidro con obstáculo circular / Lente / Pantalla e regra.

Comproba que tes este material e -se falta algo- ponte en contacto coa profesora ou profesor. Por favor, non movas material dos bancos ópticos veciños.



NOTA IMPORTANTE: **NUNCA MIRE DIRECTAMENTE UN FEIXE LÁSER NIN OS SEUS REFLEXOS EN SUPERFICIES DE ALTA REFLECTANCIA. NUNCA DIRIXAS UN FEIXE LÁSER CARA AOS OLLOS DAS OUTRAS PERSOAS. A RADIACIÓN LÁSER PODE CAUSAR GRAVES LESIÓNS OCULARES.**

E. NOTAS SOBRE O PROCEDEMENTO

1. Cálculo da anchura dunha fenda mediante medida da súa figura de difracción.

"Difracción" é o nome dado por Francesco María Grimaldi no libro *De Lumine*, publicado en 1665, aos fenómenos observados cando a luz incide sobre obstáculos e aperturas. Até o século XVII as formas coñecidas de propagación da luz reducíanse basicamente a tres: a propagación rectilínea (en medios homoxéneos), a reflexión en superficies e a refracción nas fronteiras que delimitan medios distintos. Grimaldi observou que cando a luz atravesaba

aberturas ou incide sobre obstáculos, a súa propagación non podía explicarse ben mediante os conceptos da óptica xeométrica convencional. Tanto na zona xeometricamente iluminada como na que corresponde á sombra xeométrica dun obxecto obsérvanse distribucións de luz en forma de franxas máis ou menos complexas. A explicación destes fenómenos no marco da teoría newtoniana da luz (entendida como un fluxo de partículas de características materiais, suxeitas ás leis da dinámica clásica) encontrou serias dificultades. Un modelo físico-matemático máis satisfactorio para explicar cualitativa e cuantitativamente a difracción foi proposto por Fresnel en 1818 e é actualmente estudado en todos os cursos de Óptica. O modelo de Fresnel describe a propagación da luz como un fenómeno de características ondulatorias, de xeito que cada punto dunha fronte de ondas convértese á súa vez nunha fonte de novas ondas que se propagan e interfíren entre si. A idea de que cada punto dunha fronte é fonte de novas ondas *secundarias* provén de Christian Huygens (s. XVII); a achega fundamental de Fresnel foi a de que esas ondas interfíren entre si, e é a suma de todas elas (ou a súa integral, se traballamos cun continuo de puntos) a que describe a propagación da luz.

Nesta experiencia imos aproveitar o fenómeno da difracción para calcular as dimensións de pequenos obxectos; máis en concreto, para medir o ancho dunha fenda e dun rectángulo transparente practicados nunha pantalla opaca. Por simplicidade das fórmulas, imos considerar o caso particular en que iluminamos a fenda cunha onda plana e observamos nunha pantalla situada a unha distancia infinita (situación coñecida co nome de *difracción de Fraunhofer*). Experimentalmente isto pode realizarse de varios xeitos, traballando en espazos finitos: Por exemplo, situando unha fonte puntual S no foco dunha lente converxente L_1 (o que nos proporciona a onda plana de iluminación), recollendo a luz que sae do abertura F cunha lente converxente L_2 e observando a distribución de irradiancia producida no plano focal desta (como sabedes, unha lente forma no seu plano focal a imaxe dos obxectos situados a unha distancia infinita). Ver figura 1.

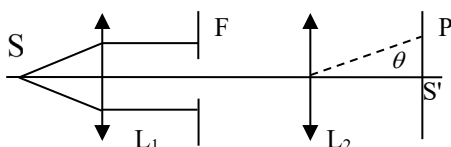


Figura 1

Tamén podemos observar un patrón de difracción aproximadamente igual ao de Fraunhofer sen utilizar a lente, situando tanto a fonte S como a pantalla P abondo lonxe da fenda. 'Abondo lonxe' significa que as distancias deben ser da orde de varios metros para fendas de tamaño inferior a un milímetro. Neste caso o ángulo θ que caracteriza a posición de cada punto no plano de observación mídese con respecto ao centro da fenda, tal e como se indica na figura 2

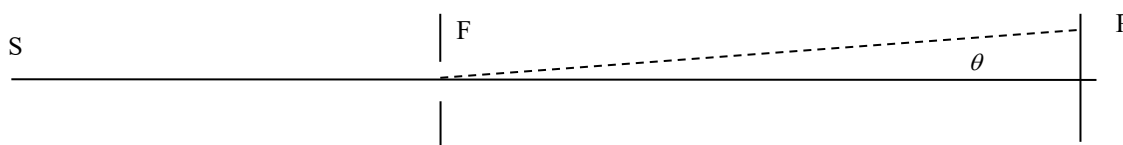


Figura 2

Con calquera das configuracións anteriores, a distribución de irradiancia no plano de observación no caso dunha fenda longa virá dada por unha función seno cociente (adoito denominada "sinc") elevada ao cadrado:

$$I(\theta) = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$$

onde $\alpha = (\pi a/\lambda)\sin \theta$, sendo a o ancho da fenda, λ a longura de onda, e cada valor de θ corresponde a un punto P do plano de observación de coordenada $x = z \tan \theta$, medida dende o centro do patrón (lugar na cal a irradiancia é máxima). Na fórmula anterior, z vén sendo:

(a) na figura 1, a distancia focal de L_2 (que coincide coa distancia lente-plano de observación)

(b) na figura 2, a distancia entre a fenda e o plano de observación.

No desenvolvemento desta experiencia imos usar a configuración correspondente á Fig. 2.

Se o ángulo θ é pequeno, é dicir, se observamos a irradiancia en puntos x situados non lonxe do centro da figura de difracción (onde "non lonxe" quere dicir que x/z é pequeno, de xeito que $\tan \theta$ é aproximadamente igual a $\sin \theta$, e ambos á súa vez semellantes a θ , expresado en radiáns. Por exemplo, se $\theta = 0.1000$ rad, uns 6° aproximadamente, temos que $x/z = \tan \theta = 0.1003$, e $\sin \theta = 0.0998$), podemos substituír $\sin \theta$ por x/z co que as posicións dos mínimos da distribución de irradiancia veñen dadas por (comproba analiticamente este resultado)

$$x_{\min} = n\lambda z/a$$

onde n é calquera número enteiro, excluindo o 0 (que corresponde ao máximo central). Os valores de n positivos corresponden aos mínimos situados na parte positiva do eixo X, e os negativos aos situados simetricamente na parte negativa do citado eixo. Fíxate que a fórmula anterior pode interpretarse como unha recta $x_{\min}(n)$, de pendente $\lambda z/a$ e termo independente nulo. Se mides a posición dos mínimos de difracción, cada un dos cales corresponde a un valor de n (...-3, -2, -1,+1,+2,+3,...) podes axustar aos datos unha expresión do tipo $x_{\min}(n) = A \cdot n + B$, e, coñecido A , obter a , a anchura da fenda.

No caso dunha abertura rectangular de lados a e b , o patrón de difracción corresponde ó produto de dúas funcións seno cociente:

$$I(\theta) = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2$$

onde a foi definido anteriormente e $\beta = (\pi b/\lambda)\sin \phi$, e ϕ corresponde ó punto con coordenada $y = z \tan \phi$. e neste caso os mínimos na dirección vertical e horizontal seguen a secuencia:

$$x_{\min} = n\lambda z/a, y_{\min} = 0 \quad (\text{dirección horizontal})$$

$$x_{\min} = 0, y_{\min} = m\lambda z/b \quad (\text{dirección vertical})$$

Para medir as posicións dos mínimos o procedemento é o seguinte: sitúa a placa coas fendas/rectángulos no seu soporte e dirixe cara ela o feixe láser de forma que este ilumine unha dos obstáculos que contén a placa. Toma nota de cal é a iluminada, pois cumprirá medir posteriormente a súa anchura. Utiliza como pantalla de observación unha pantalla e sitúa unha regra sobre o patrón observado. e realiza unha foto desta montaxe.

ATENCIÓN: a placa que contén as fendas está fabricada depositando metal sobre vidro,

polo que reflicte o feixe láser moi eficazmente. Bloquea o reflexo coa axuda dunha carpeta, pantalla, etc, para evitar que poida incidir nas persoas que realizan outras experiencias no laboratorio.

Atención tamén a un efecto óptico visual: a irradiancia ao longo do patrón de difracción varía de xeito suave e continuo, sen saltos, como se deduce da fórmula para $I(x)$. Porén, a impresión visual é que hai "bandas claras" e "bandas escuras" separadas por unha fronteira bastante nítida. Por que? O noso sistema visual está incrementando o contraste da figura en certas zonas de xeito que a irradiancia que está por encima dun certo limiar aparece como banda clara e a que está por baixo como escura. Á hora de marcar posicións, ten en conta que os mínimos se atopan aproximadamente no centro das "bandas escuras". Nunca marques a posición da "fronteira" entre elas, xa que non corresponde a ningún máximo nen mínimo. Realiza esta operación para dúas distancias 'z' entre a placas coas fendas/rectángulos e pantalla de observación.

A partir dos datos obtidos, calcula o ancho da fenda, os lados dos rectángulos e a súas incertezas. A continuación, mide directamente estas magnitudes utilizando un dos microscopios con micrómetro dos que dispoñemos no laboratorio (realiza polo menos tres medidas), e calcula a súa incerteza. Analiza se ambos resultados (o obtido por difracción e o medido no microscopio) son compatibles entre sí.

Esta experiencia debes realizala para unha das fendas e un dos rectángulos dispostos nas placas.

2 Observación da mancha de Airy

A **mancha de Airy** é o patrón de difracción que aparece cando un feixe de luz pasa por unha abertura circular, como unha lente, un diafragma ou o espello dun telescopio. A luz, ao non poder propagarse completamente en liña recta por causa da natureza ondulatoria, espállase e interfere consigo mesma, creando unha estrutura característica formada por un punto central moi brillante e varios aneis concéntricos cada vez máis febles.

O punto central, que recibe o nome de disco de Airy, é a zona onde a interferencia da luz resulta maioritariamente construtiva. Ao seu redor fórmanse aneis provocados pola alternancia entre interferencia construtiva e destrutiva. O tamaño deste disco depende principalmente da lonxitude de onda da luz empregada e do diámetro da abertura pola que pasa. O ángulo ata o primeiro mínimo de intensidade, que define o radio efectivo do disco, vén dado pola expresión

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

onde λ é a lonxitude de onda e D o diámetro da abertura.

Este fenómeno establece un límite fundamental de resolución en calquera instrumento óptico. Se dous puntos no obxecto producen discos de Airy que se solapan demasiado, o sistema non será capaz de distinguilos con claridade. Por iso, en astronomía determina a capacidade dun telescopio para separar dúas estrelas próximas; en microscopía clásica marca o límite da resolución óptica; e en fotografía explica porque ao pechar moito o diafragma a imaxe perde nitidez debido á difracción.

Comprender a mancha de Airy é esencial para o deseño e optimización de sistemas ópticos,

xa que axuda a equilibrar a corrección de aberracións coa inevitabilidade dos efectos de difracción. É tamén a base dos criterios de resolución clásicos e un recordatorio de que todo instrumento óptico está condicionado polas leis fundamentais da física ondulatoria.

Neste apartado do traballo debede construír o voso abertura circular usando o mesmo procedemento que na práctica de interferencia, usando ana lámina de aluminio. Para iso, coloca a lámina sobre a mesa e, apoiando nela o alfinete, aperta lixeiramente ata producir un burato na mesma. Se a operación tivo éxito, observarás luz atravesando a lámina ao colocar esta diante dunha fonte de luz intensa.

Nesta parte do traballo debes de construír un mínimo de tres buratos circulares usando o procedemento anterior, e observar o patrón de difracción producido sobre unha pantalla situada a varios metros cando iluminas co láser os diferentes buratos.

Realizade unha fotografía da mancha de Airy obtida para cada burato. Tamén podeades observar o patrón de difracción obtido cos dous buratos do experimento de Young.

3. Observación da "mancha de Poisson".

Cando Agustin Jean Fresnel propuxo o seu modelo ondulatorio-interferencial para explicar a propagación da luz e os fenómenos difractivos atopou certas resistencias no estamento científico dominante na súa época, por canto este modelo era dificilmente compatible co newtoniano, daquela hexemónico. Nun intento de demostrar que o modelo de Fresnel daba lugar a predicións falsas e polo tanto era incorrecto, Poisson deduciu matematicamente que, de ser as cousas como Fresnel propuña, entón no centro xusto da sombra dun obxecto circular iluminado por unha onda plana ou esférica debería haber un punto brillante, cousa que daba por imposible. Físicos como Laplace ou Biot compartían a obxección de Poisson. Porén, outro ben coñecido físico, François Arago, decidiu realizar o experimento e encontrou, para a súa sorpresa (e para sorpresa de Poisson, claro) que ese punto brillante aparece efectivamente no centro da sombra, co que o modelo de Fresnel recibiu unha inesperada confirmación experimental.

Este punto brillante coñécese hoxe como punto ou mancha de Poisson, algo que probablemente non lle faría demasiada graza ao afectado. Non é o único exemplo no cal o nome dun fenómeno se debe a un dos seus máis decididos opoñentes: en datas máis recentes o cosmólogo Fred Hoyle, partidario da teoría do universo estacionario e oposto ao modelo vixente, denominou algo despectivamente a este último como o do *Big Bang*, nome que fixo fortuna e pasou a ser de uso común.

Nesta parte do traballo debes reproducir a experiencia de Arago, utilizando como fonte de luz un feixe láser e como obstáculo circular un pequeno disco opaco suxeito a un soporte transparente de vidro. Sitúade o láser a varios metros de distancia do vidro, de xeito que o feixe sexa suficientemente ancho como para iluminar totalmente o obstáculo, sobrepasándoo amplamente. Aliñade o feixe de xeito que o disco estea ben centrado co mesmo. Observade a irradiancia nun plano situado uns metros máis aló. No centro deberíades poder ver a mancha de Poisson. Avisade ao profesor ou profesora, unha vez que a teñades: a proba está superada se a xuízo desta obtedes unha mancha de boa calidade (suficientemente brillante, con simetría de rotación, etc).

Realizade unha fotografía da mancha de Poisson obtida.

ANEXO 1: INFORME DA EXPERIENCIA

FENDA 1

Distancia z ás que se efectuaron as medidas:	
Gráfica (con unidades nos eixes!) e axuste da recta $x_{\min}(n)=A \cdot n+B$ aos datos experimentais	
A (con unidades):	B (con unidades):
Repíte este proceso para as dúas distancias elixidas	
Valor deducido da anchura da fenda, a (+/- incerteza), con unidades:	
Valor de a medido no microscopio con micrómetro (+/- incerteza), con unidades:	
Xuízo sobre a compatibilidade de ambos resultados. Se os diferentes resultados obtidos mediante difracción e a medida no microscopio non fosen compatibles, análise crítica das principais causas que poden explicar deste feito.	

ABERTURA RECTANGULAR

Distancia z á que se efectuaron as medidas:	
Gráfica (con unidades nos eixes!) e axuste das rectas $x_{\min}(n)=A \cdot n+B$ $y_{\min}(m)=C \cdot m+d$ aos datos experimentais	
A (con unidades):	B (con unidades):
C (con unidades):	D (con unidades):
Repíte este proceso para as dúas distancias elixidas	
Valor deducido dos lados do rectángulo, a, b (+/- incerteza), con unidades:	
Valor de a, b medidos no microscopio con micrómetro (+/- incerteza), con unidades:	
Xuízo sobre a compatibilidade de ambos resultados. Se os diferentes resultados obtidos mediante difracción e a medida no microscopio non fosen compatibles, análise crítica das principais causas que poden explicar deste feito.	

Mancha de Mancha de Airy

Presenta e comenta as imaxes realizadas. En particular , comenta como varía o disco de Airy co tamaño dos buratos

Mancha de Poisson

Presenta e comenta a imaxe realizada