

Introducción a la Física Experimental

Guía de la experiencia

Doble rendija de Young.

Determinación de la longitud de onda de una luz roja.

Departamento de Física Aplicada.
Universidad de Cantabria.

Febrero 28, 2005

Tenga en cuenta que la lectura previa de esta guía y la comprobación de las ecuaciones le llevará del orden de dos horas, incluyendo la consulta de las palabras clave, y que la lectura de la bibliografía específica en inglés le llevará entre una y dos horas.

Resumen

Se describe el experimento de la doble rendija de Young y cómo llevar a cabo medidas experimentales de patrones de interferencia para determinar la longitud de onda de radiación electromagnética en el espectro visible.

Introducción

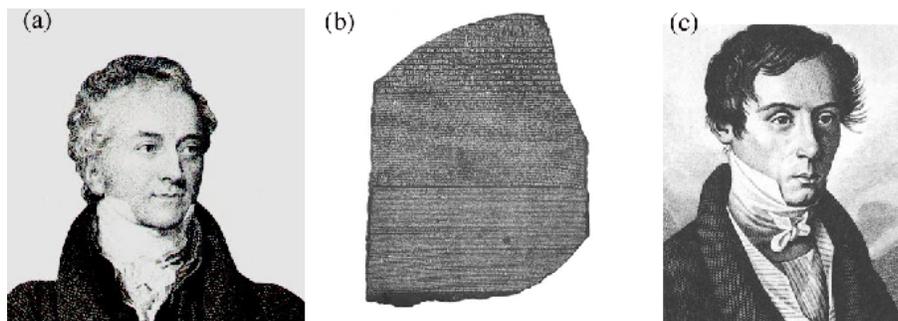


Figura 1: (a) Retrato de Thomas Young; (b) Piedra de Roseta. Young estuvo a punto de descifrar la escritura jeroglífica egipcia. (c) Retrato de Agustín Fresnel.

De acuerdo con las descripciones físicas más modernas, la luz, la radiación electromagnética, puede presentar un carácter corpuscular –por ejemplo, en

el *efecto Compton*, o en la absorción de fotones en el *efecto fotoeléctrico*— o un carácter ondulatorio —por ejemplo, en un interferómetro de Michelson—, dependiendo del experimento a que se la someta.

Desde un punto de vista histórico, a lo largo de los siglos XVII y XVIII, la teoría corpuscular de la luz, defendida por Newton, dominó el panorama de la física, en oposición a la teoría ondulatoria, defendida por Huygens. El experimento de la doble rendija, llevado a cabo con éxito por primera vez por Thomas Young entre 1801 y 1807, está considerado como uno de los experimentos más bellos de la física ¹. Esta experiencia puso de manifiesto que, al menos en determinadas circunstancias, la luz se comporta como un fenómeno ondulatorio.

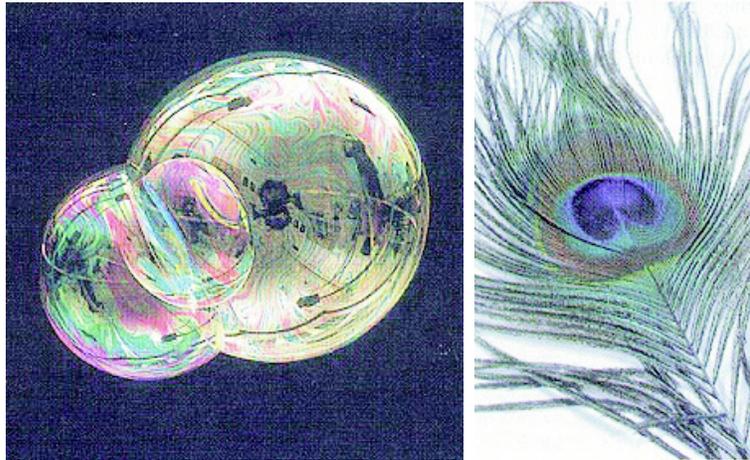


Figura 2: Fenómenos de interferencias en pompas de jabón y en plumas de pájaros.

Cuando un rayo de luz se hace incidir sobre una rendija, si la anchura l de la rendija es comparable con la longitud de onda λ de la radiación incidente, se produce un patrón de interferencias característico sobre la pantalla colocada en el lado opuesto. Este patrón se denomina *difracción de Fraunhofer* y consta de una banda central muy iluminada a cuyos lados aparecen bandas oscuras y claras de forma alternada. La intensidad luminosa de estas bandas laterales es mucho menor que la de la banda central, por lo que resultan difíciles de observar.

Cuando un rayo de luz monocromática se hace incidir sobre una doble rendija, cada una de ellas se convierte en un foco emisor de luz en todas direcciones, produciendo un patrón de interferencias, en la parte común de sus conos de luz, diferente del que se obtiene con una sola rendija.

Sean F_1 y F_2 los dos focos coherentes, separados por una distancia d , y sea L la distancia entre el centro de F_1 y F_2 y la pantalla. En un punto P a

¹Young's double-slit experiment, en inglés. Estos resultados fueron publicados en el libro de Young titulado *A course of lectures on natural philosophy and mechanical arts* en 1807.

distancia y de O , la diferencia de caminos ópticos (considerando la propagación en el aire) es (ver fig. 3),

$$r_1 - r_2 = d \operatorname{sen} \theta, \quad (1)$$

admitiendo que $L \gg d$.

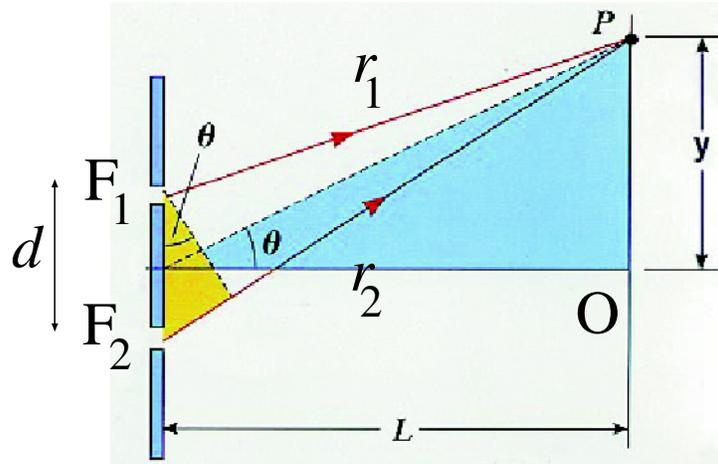


Figura 3: Geometría –vista superior– de la formación de interferencias en una doble rendija. La distancia entre rendijas es d . Los rayos que inciden sobre P provenientes de cada rendija pueden llegar en fase o en oposición de fase dependiendo de si su diferencia de caminos ópticos, $r_1 - r_2$, es un número entero de longitudes de onda o un número impar de semilongitudes de onda, respectivamente.

De donde, si

$$\frac{d}{L}y = n\lambda \quad (2)$$

la interferencia en el punto P es constructiva y si

$$\frac{d}{L}y = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (3)$$

la interferencia es destructiva en P , siendo $n = 1, 2, 3, \dots$

De esta manera se observarán en la pantalla puntos de máxima y mínima intensidad (ver fig. 4).

Descripción del material

Para la realización de estas experiencias se dispone del siguiente material:

1. Un banco óptico
2. Una fuente de luz láser de He-Ne.

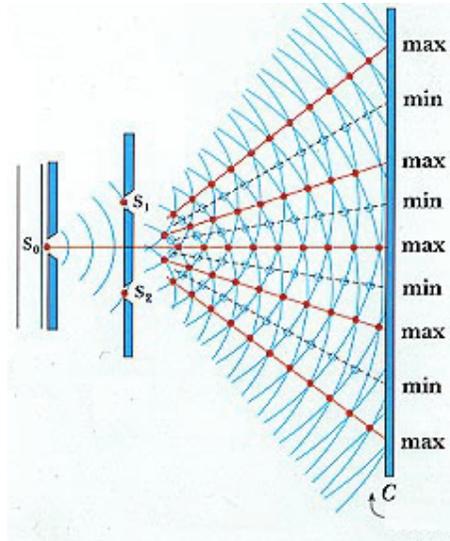


Figura 4: Esquema –vista superior– sobre la formación de interferencias por doble rendija.

3. Una doble rendija montada sobre un soporte.
4. Lente engastada (focal +20mm)
5. Juego de lentes (con focales +50 mm, +100 mm).
6. Portalentas.
7. Soportes para banco de óptica.
8. Soportes, con tornillo micrométrico en los ejes x e y , para banco de óptica.
9. Escalilla montada sobre diapositiva.
10. Pantalla.
11. Gafas de protección.

Consideraciones previas a la realización del experimento

Antes de comenzar la toma de datos en la experiencia, considere las siguientes cuestiones:

1. ¿Cuál es el intervalo de longitudes de onda –y de frecuencias– de la luz visible?
2. La longitud de onda de la luz roja, ¿es mayor o menor que la de la luz verde?

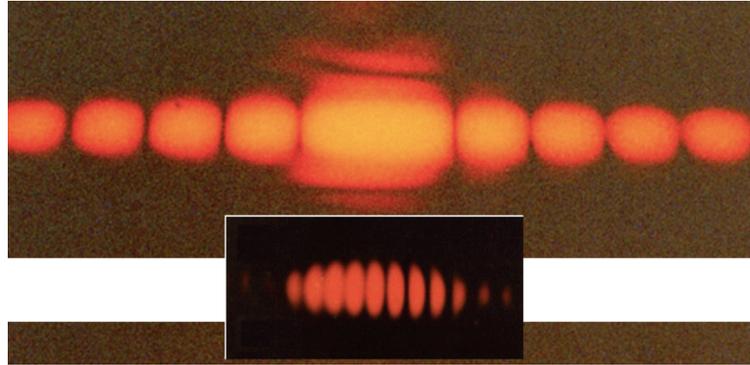


Figura 5: Parte superior, difracción por una sola rendija, mostrando una zona central bien iluminada justo enfrente de donde se encuentra la rendija. Parte inferior, difracción por doble rendija, mostrando el patrón de difracción que se observa en la parte central, la misma que antes ocupaba la zona más iluminada.

3. ¿En qué otro tipo de experiencias se pone de manifiesto el carácter corpuscular de la luz?
4. ¿En qué otro tipo de experiencias se pone de manifiesto el carácter ondulatorio de la luz?
5. Defina *focal* de una lente. Encuentre la relación que existe entre el tamaño de un objeto y el de su imagen formada por una lente convergente. Dibuje el esquema explicativo correspondiente.
6. ¿Qué es un patrón de interferencias? ¿Qué son focos coherentes?
7. Encuentre el resultado Ec. (1) a partir de la Fig. 3
8. Encuentre los resultados Ecs. (2) y (3) a partir de la Rc. (1).
9. Encuentre la Ec. (1) a partir de la posición que ocupan en la pantalla, la distancia entre dos máximos consecutivos y entre dos mínimos consecutivos y dibuje el patrón de interferencias que, en consecuencia, espera observar.
10. Consulte en bibliografía [1] la forma en que se obtiene la intensidad en un máximo y en un mínimo.

Indicaciones

No interponga el ojo en la dirección del haz láser: hacerlo puede provocar daños irreversibles. Utilice las gafas protectoras.

La radiación solar incide sobre la superficie terrestre con una intensidad de unos 600 W m^{-2} . Suponga que su pupila tiene un diámetro $d = 4 \text{ mm}$. La exposición por más de unos segundos del ojo a la luz directa del sol puede causar daños irreversibles –lo que le sucedió a Newton–. Suponga ahora que dispone de un láser de 10 mW de potencia y que el diámetro de su haz es del orden de los 2 mm . ¿Son comparables las concentraciones de energía del Sol y de éste láser?

Montaje experimental

Sobre un banco óptico se ha de montar una fuente de luz láser, la doble rendija y una pantalla sobre la que visualizar las interferencias. Para mantener el haz de luz paralelo a lo largo del banco óptico, de manera que se disponga de una zona iluminada uniformemente y, al mismo tiempo, conseguir un diámetro del haz que permita iluminar simultáneamente las dos rendijas de Young, entre la fuente de luz y las rendijas se coloca el siguiente montaje

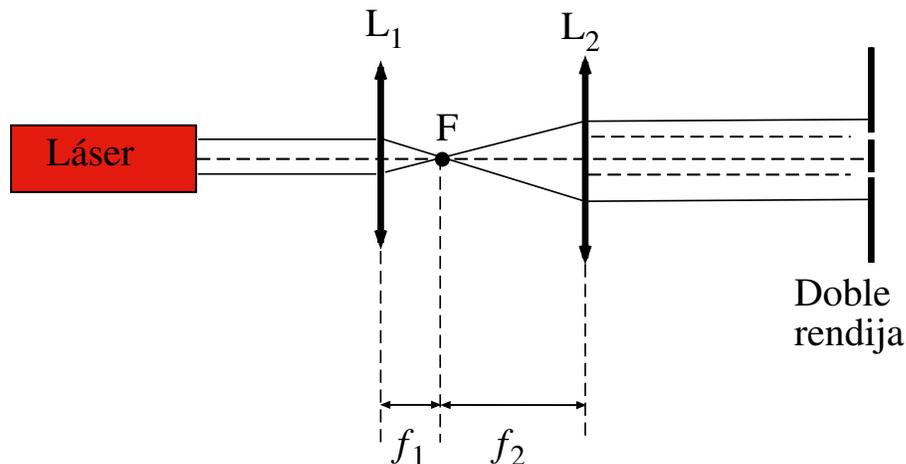


Figura 6: Montaje experimental para determinar la distancia entre las rendijas.

Las lentes L_1 y L_2 se colocan a distancia $f_1 + f_2$, siendo f_1 y f_2 sus respectivas distancias focales, de manera que sus focos coinciden en el mismo punto F y la marcha de los rayos es la que se muestra en la Fig. 6.

Medidas experimentales

El primer paso es medir con precisión la distancia d entre rendijas –previamente intente hacer una estimación del orden de magnitud de esta distancia con la ayuda de una regla con precisión de 1 mm –. Para ello, utilice una lente convergente y tenga presente sus *consideraciones previas*.

Una vez que se ha medido la distancia entre rendijas, se lleva la pantalla lo suficientemente lejos, una distancia L de la doble rendija, como para que se

pueda ver con claridad el patrón de interferencias de la misma. Se mide la densidad de franjas de interferencia –número de franjas por unidad de longitud– con la ayuda de una escalilla montada sobre un soporte –esta densidad se puede estimar primero con la ayuda de una regla con precisión de 1 mm–.

Discuta con el profesor cómo piensa efectuar esta medida para conseguir minimizar el error experimental. Haga un dibujo del patrón de interferencias que observa y en él represente la medida directa que realiza. Conocidas d , la distancia L y la densidad de franjas de interferencia, se puede determinar la longitud de onda utilizando la respuesta a la cuestión octava de las *Consideraciones previas*. Tabule los resultados. Calcule los errores de sus medidas y compare sus resultados con lo que esperaba obtener.

Preguntas adicionales relacionadas con la experiencia

1. Imagine que en vez de luz roja se utiliza un láser de luz verde. Si todas las distancias permanecen iguales a las que ha utilizado en su experiencia, ¿qué puede esperarse que le suceda a la densidad de franjas de interferencia? ¿Aumentará o disminuirá? Justifíquelo.
2. Uno de los primeros fenómenos de interferencia de la luz observados fueron los denominados *anillos de Newton*. ¿Cómo se explican?

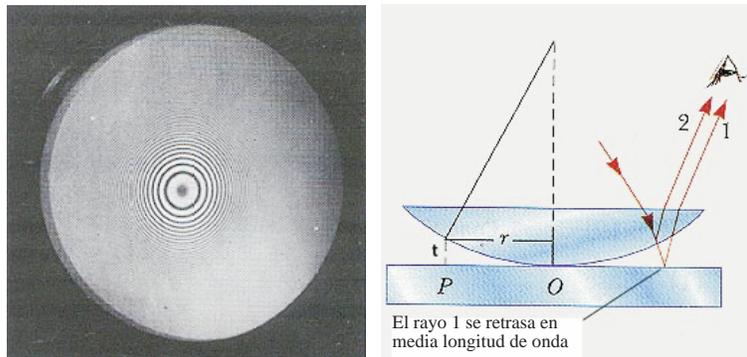


Figura 7: Anillos de Newton. Se observan cuando una superficie esférica, por ejemplo, una lente plano-convexa– se coloca sobre una superficie plana y es iluminada desde arriba.

3. Las pompas de jabón presentan un rico espectro de colores cuando son observadas ver fig . (2). ¿Cómo se explica esa fenomenología?

Referencias

- [1] S. Burbano et al. *Física general*. Mira editores. XXXI edición. Zaragoza (1993)

- [2] F. Carreño, M. Antón, J. M. Ezquerro, O. Gómez, *Experiencias de Óptica*, Editorial Complutense, Madrid 2001.
- [3] G A Cox, *Thomas Young 1773-1829*, Phys. Education **8**, 396-399 (1973)
- [4] R W Lawrence, *Magnification ratio and the lens equation*, The Physics Teacher **38**, 170-171 (2000)
- [5] G A Cox, *Thomas Young 1773-1829*, Phys. Education **8**, 396-399 (1973)
- [6] C. E. Miller, *A method of demonstrating the principles of interference*, Am. J. Phys. **3**, 75-76 (1935)
- [7] Yu Hao, Q Cheng, L Zhen-di, *A ripple tank demonstration of the conditions for interference of waves*, Am. J. Phys. **56**, 745-746 (1988)
- [8] B S Perkalskis, J R. Freeman, *Herschel's interference demonstration*, The Physics Teacher **38**, 142 (2000)
- [9] R Field, *A spreadsheet simulation for a Young's double slits experiment*, Phys. Education **30**, 230-235 (1995)
- [10] R P Crease, *The double-slit experiment*, Phys. World **September**, 15 (2002)
- [11] R P Crease, *The most beautiful experiment*, Phys. World **November**, 19-20 (2002)
- [12] M L Cooper, *Names in physics. Fresnel*, Phys. Education **5**, 175-177 (1970)
- [13] J J Veit, J Solarek, *Interference fringes using a Fresnel biprism and a laser*, The Physics Teacher **13**, 413-414 (1975)