

UTILIZACION DEL LASER EN EXPERIENCIAS POR DIFRACCION: CALCULO DE LA LONGITUD DE ONDA DE UNA RADIACION LUMINOSA

LLUÍS GARRIGÓS OLTRA
(I.B. Mixto de Xixona. Alicante)

SUMMARY

This paper is an attempt to underline the importance of the use of didactic laser systems to carry out qualitative and, above all, quantitative experiences concerning the properties of the luminous waves, at a secondary school level. Such experiences direct the interest of the student towards a series of concepts which so far have been characterized by a lack of experimental resources at that level.

INTRODUCCION

La emisión estimulada, fenómeno previsto por Einstein, fue la base a partir de la que se establecieron los principios del funcionamiento de un láser en 1958 por Schalow y Townes, desarrollándose en 1960 el primer láser operativo.

La luz láser se diferencia de la luz ordinaria en diversos e importantes aspectos.

Una bombilla convencional emite luz en todas direcciones y su energía se disipa rápidamente. La luz láser, por el contrario, puede dirigirse como haz estrecho hacia puntos muy distantes, siendo esta luz de una intensidad mucho mayor que la luz ordinaria de cualquier bombilla.

La luz láser, por otra parte, presenta una gran coherencia, lo cual significa que además de tener una única longitud de onda, toda la luz tiene en cualquier punto una sensación perpendicular de haz y en un instante dado, la misma fase, amplitud y sentido. Por todo ello, el láser es la fuente ideal para realizar experiencias de difracción e interferencias luminosas.

Por último, la aparición en el mercado del sistema láser con un enfoque didáctico a precios relativamente económicos ha posibilitado la realización de experiencias en cursos de Física preparatorios para la Universidad; experiencias que en un tiempo no muy lejano tan sólo podían llevarse a cabo en laboratorios avanzados de óptica.

En la actualidad la Bibliografía (1, 2, 3) está ofreciendo gran cantidad de experiencias realizadas con láser y enfocadas a la enseñanza media.

OBJETIVOS

El objetivo a lograr con esta experiencia es doble. Por una parte, se trata de observar el fenómeno de la difracción luminosa al atravesar un rayo de luz una rendija suficientemente estrecha. Por otra parte, se intenta averiguar el valor de la longitud de onda de la radiación luminosa incidente.

Para conseguir dichos objetivos se ha utilizado un láser didáctico de He-Ne de 1 miliwatio de potencia de la firma Spectra Physics (modelo 155) que emite luz de 632.8 nm de longitud de onda. El haz luminoso se ha hecho pasar por una rendija de 0.4 mm de anchura obteniéndose las figuras de difracción sobre una pantalla situada a una distancia variable respecto de la rendija comprendida entre 1.5 y 5.0 metros.

FUNDAMENTO TEORICO

Cuando una onda luminosa llega a una superficie que le impide propagarse y en la cual encuentra un orificio pequeño se produce el fenómeno de la difracción. Este fenómeno consiste básicamente en la aparición de zonas claras y oscuras como consecuencia de interferencias constructivas y destructivas entre los rayos luminosos emergentes desde todos los puntos de la rendija, ya que cada punto, de acuerdo con el principio de Huygens, se convierte en un nuevo foco emisor de ondas.

Se pueden considerar dos tipos de difracción según que los rayos emergentes sean paralelos entre sí o no. El primer caso, denominado difracción de Fraunhofer, se puede considerar como un caso extremo del segundo, denominado difracción de Fresnel.

Para llegar a la situación de difracción de Fraunhofer es necesario colocar la pantalla a una distancia infinita, aunque podemos, no obstante, aproximarnos a dicha situación limite situando la pantalla a una distancia suficientemente grande. La difracción de Fraunhofer se puede estudiar a un nivel introductorio, como es nuestro caso, con mucha mayor facilidad que la de Fresnel por ser de planteamientos relativamente sencillos, pudiéndose encontrar un análisis detallado del fenómeno en cualquier texto fundamentalmente de óptica. (4.5.).

La condición para que aparezca un mínimo de intensidad luminosa en un proceso de difracción por rendija viene dada por la ecuación:

$$D \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda \quad n = 1, 2, 3... \quad (1)$$

donde D representa la anchura de la rendija, α es un ángulo relacionado con la inclinación de los rayos luminosos emergentes, λ es la longitud de onda de la radiación luminosa utilizada y n es un número entero.

Por otra parte, los máximos de intensidad se encuentran en posiciones prácticamente equidistantes de los mínimos anterior y posterior al máximo considerado, por lo que podemos suponer que para los máximos de intensidad n puede adoptar los valores 0 (máximo central), 3/2, 5/2, 7/2...

En la figura 1 se muestra una imagen de difracción por rendija obtenida con luz láser y en la figura 2 se representa la distribución de máximos y mínimos luminosos de dicha imagen.

En la ecuación (1) el término $\sin \alpha$ no es susceptible de ser medido directamente; sin embargo, una aproximación adecuada resuelve este inconveniente. Dicha aproximación se basa en suponer que la distancia existente entre la pantalla y la rendija es lo suficientemente grande en comparación con la anchura de la rendija como para considerar que la imagen de difracción obtenida es de tipo Fraunhofer. Para ello es necesario que se verifique la condición:

$$L \cdot \lambda \gg (\frac{1}{2} \cdot D \cdot \cos \alpha)^2 \quad (2)$$

donde L es la separación existente entre la rendija y la pantalla. En nuestro caso $L \cdot \lambda$ se ha tomado, como mínimo 20 veces mayor que $(\frac{1}{2} \cdot D \cdot \cos \alpha)^2$. Esta situación se representa en la figura 3.

En las condiciones de aproximación consideradas el valor del ángulo α es en extremo pequeño, por lo que es posible realizar la aproximación:

$$\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha$$

Por otra parte, la tangente del ángulo α para cada máximo o mínimo considerado se puede obtener como el

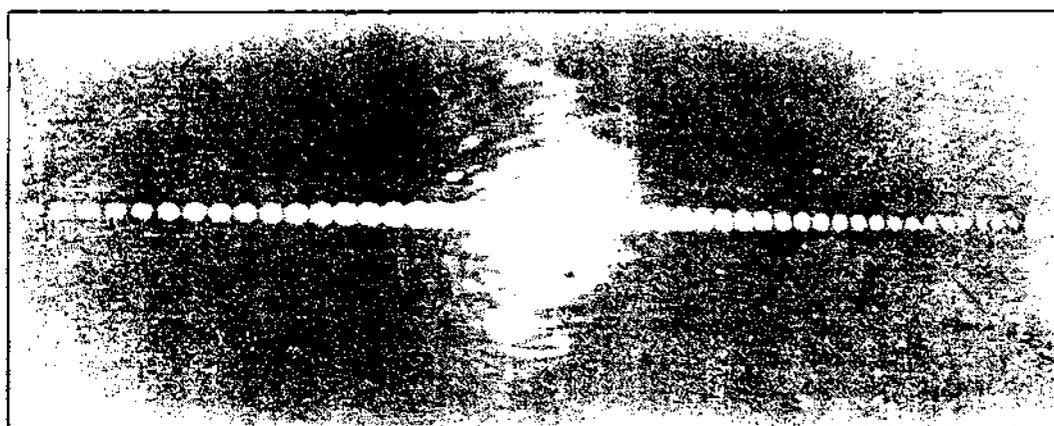


Figura 1
Imagen de difracción de una rendija estrecha obtenida con luz láser. La fotografía ha sido tomada con un tiempo de exposición de 45 segundos y una apertura de diafragma 1/8.

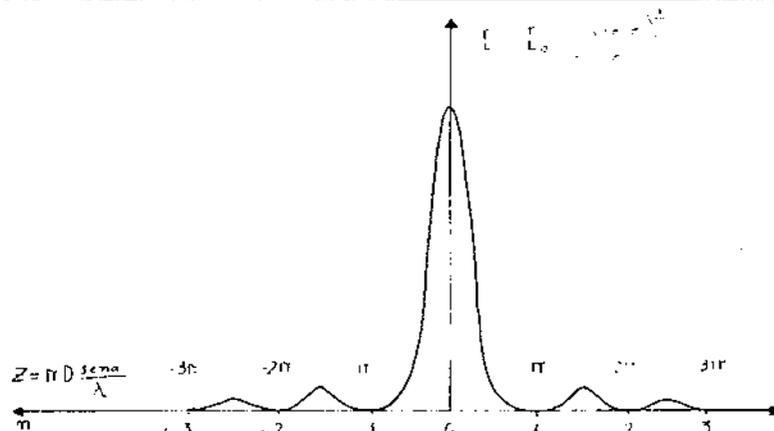


Figura 2
Representación esquemática de la distribución de máximos y mínimos en una figura de difracción.

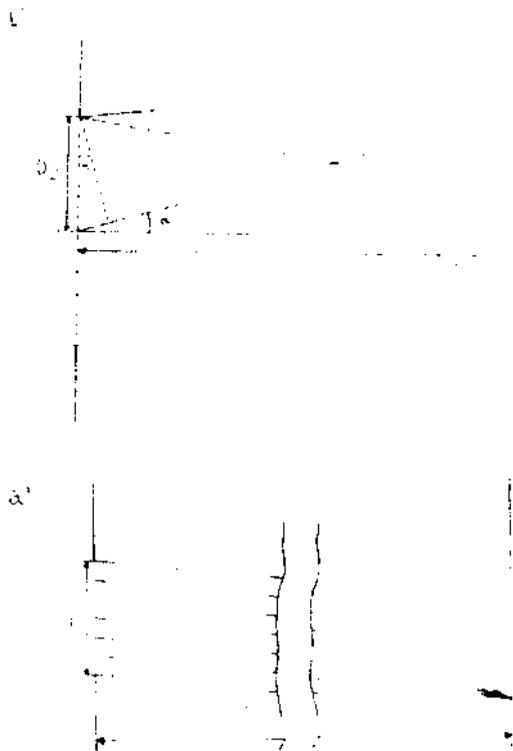


Figura 3
 a) Aproximación a la situación de difracción de Fraunhofer.
 b) Parámetros geométricos de la aproximación a la situación de difracción de Fraunhofer.

cociente entre la distancia existente entre el máximo central y dicho máximo (o mínimo) (x), y la distancia existente entre la rendija y la pantalla (L):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{L}$$

La ecuación (1) puede entonces ser reescrita en la forma:

$$n = \frac{D}{\lambda \cdot L} \cdot x \quad (3)$$

la cual permite el cálculo de λ a partir de parámetros cuyo valor es obtenible por medición directa.

MONTAJE EXPERIMENTAL Y DESARROLLO DE LA PRACTICA

En la figura 4 se representa esquemáticamente el montaje experimental que se ha llevado a efecto en la realización de la práctica.

El láser y la rendija se sitúan alineados sobre una mesa de laboratorio de forma perpendicular a la pared

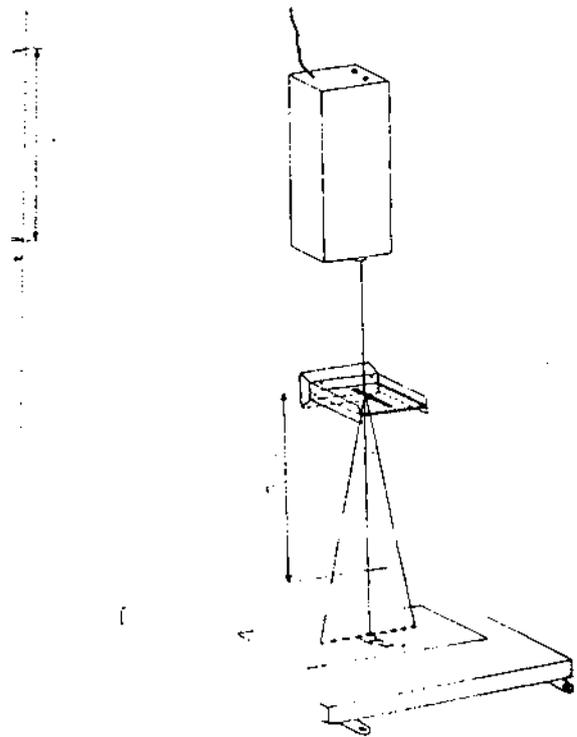


Figura 4
 Montaje experimental llevado a cabo para obtener figuras de difracción.

sobre la que se coloca la pantalla que es un tablón de corcho sobre el que se puede fijar con chinchetas un papel vegetal milimetrado.

La rendija se va colocando a distintas distancias de la pantalla, obteniéndose en cada caso figuras de difracción diferentes. La rendija utilizada tiene una anchura de 0.4 mm y forma parte, al igual que los restantes accesorios (una montura para lente y una deslizadera) del equipo de óptica de ENOSA para EGB. La medición de la anchura de la rendija se llevó a cabo con la ayuda de una lámina metálica y utilizando un palmer.

La manera de proceder para el registro de datos ha sido la siguiente:

- La figura de difracción se obtiene en condiciones de oscuridad al objeto de permitir una mayor exactitud en la determinación de la posición de los máximos y mínimos.
- Una vez que aparece la imagen de difracción en la pantalla se superpone a ella un papel vegetal milimetrado, el cual se fija a la pantalla con chinchetas. Con un lápiz se marca la posición aproximada de los puntos centrales de las zonas ovaladas, así

OT
 c) l
 El c
 nos
 de l
 laci
 par
 entu
 rim
 dier
 gen
 Un
 teni
 gen
 culc
 en l
 TAE
 a di
 D
 1^{er} n
 2^o n
 3^{er} m
 4^o m
 5^o n
 1^{er} m
 2^o n
 3^o m
 4^o n
 5^o n
 Coef
 BIBI
 (1) W
 (2) W
 (3) J
 P
 ENSI

como de los puntos centrales de las zonas oscuras.

c) Las distancias registradas se tabulan en forma de diferencias al centro de la zona luminosa central.

El cálculo de la longitud de onda de la radiación luminosa se realiza mediante una manipulación adecuada de las figuras de difracción obtenidas. Dicha manipulación consiste en un ajuste por mínimos cuadrados para cada figura de difracción de la distancia existente entre el máximo central y los distintos máximos y mínimos considerados frente a n , obteniéndose las pendientes de un conjunto de rectas que pasan por el origen. Dichas pendientes cumplen la condición:

$$m = \frac{D}{\lambda \cdot L} \quad (4)$$

Un posterior ajuste de $1/L$ frente a las pendientes obtenidas conduce a una nueva recta que pasa por el origen y a partir de cuya pendiente (D/λ) se realiza el cálculo de la longitud de onda de la radiación utilizada en la experiencia.

DISCUSION DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en la determinación de λ en la presente experiencia.

Lógicamente el proceso no es de una exactitud extrema ya que la determinación del centro de las zonas de intensidad máxima y mínima no se puede realizar de manera precisa, si no es por medio de un análisis fotométrico. Ahora bien, la experiencia es susceptible de ser llevada a cabo exclusivamente por los alumnos y el error observado en la determinación de λ es en cualquier caso del orden del 5%, por lo que se puede justificar plenamente la realización de la misma.

Nota.-

Antes de comenzar a montar la experiencia conviene tener presente que, aunque la potencia del láser es muy pequeña, nunca se debe mirar el rayo de luz directamente. Lo mismo debe decirse respecto al rayo reflejado en una superficie especular sencillamente pulida, aunque no sea un espejo; pues de no tomar esta precaución, al entrar el estrecho haz de láser por la pupila del ojo, la luz se concentraría en un punto de la retina llegando a producirle una grave lesión. Se debe evitar, pues, que al ojo llegue la luz del láser por superficies altamente reflectantes.

TABLA 1.- Distribución de máximos y mínimos de intensidad luminosa en experiencias de difracción por rendija a distintas distancias de separación entre la rendija de difracción y la pantalla.

$D = 0.4 \text{ mm}$

| | n | L (mm) | 4752 | 4252 | 3752 | 2581 | 1581 |
|---------------------------------|------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | $1/L \cdot 10^4$ | 2.104 | 2.352 | 2.665 | 3.874 | 6.325 |
| | | | x (mm) | | | | |
| 1 ^{er} máximo | 3/2 | | 10 | 10 | 7 | 6 | 4 |
| 2 ^o máximo | 5/2 | | 17 | 16 | 13 | 9 | 6 |
| 3 ^{er} máximo | 7/2 | | 24 | 22 | 19 | 13 | 9 |
| 4 ^o máximo | 9/2 | | 30 | 28 | 24 | 17 | 11 |
| 5 ^o máximo | 11/2 | | 37 | 35 | 29 | 21 | 13 |
| 1 ^{er} mínimo | 1 | | 7 | 6 | 6 | 4 | 2 |
| 2 ^o mínimo | 2 | | 14 | 12 | 11 | 7 | 5 |
| 3 ^o mínimo | 3 | | 21 | 18 | 17 | 11 | 7 |
| 4 ^o mínimo | 4 | | 28 | 24 | 22 | 15 | 10 |
| 5 ^o mínimo | 5 | | 35 | 31 | 27 | 19 | 12 |
| Coefficiente de correlación (r) | | | 0.9987 | 0.9983 | 0.9973 | 0.9986 | 0.9963 |
| pendiente (m) | | | 0.1459 | 0.1606 | 0.1858 | 0.2657 | 0.4114 |

$$D/\lambda = 667.54$$

$$\text{Coefficiente de correlación} = 0.9993$$

$$\lambda = 599.2 \text{ nm}$$

$$\text{Error relativo en la determinación de } \lambda = 5.3\%$$

BIBLIOGRAFIA

- (1) WALKER, J. (1980). *Investigación y Ciencia* 49,120
- (2) WALKER, J. (1981). *Investigación y Ciencia* 54,108
- (3) JOUANISSON, R.; FABRE, G. (1980). *Bulletin de l'Union des Physiciens* 621, 563
- (4) CRAWFORD, F. S. (1974). *Berkeley Physics Course*, Vol. 3 Ed. Reverté. pág. 481 y sig.
- (5) Sears, F. W. (1974). *Optica. Fundamentos de Física*. Ed. Aguilar. pág. 129 y sig.