

Medida de la longitud de onda del láser con una regla

Fundamento

Es posible medir la longitud de onda de la luz láser, utilizando como “red de difracción”, una regla graduada en medios milímetros.

Para ello, se hace incidir en dirección oblicua, la luz de un láser de He-Ne sobre las divisiones de la regla, la luz se refleja y a continuación se recoge en una pantalla, situada a varios metros de distancia. En la pantalla aparecen unas zonas iluminadas, cuya forma es irregular, que son debidas a la interferencia constructiva de la luz. La regla se comporta como si fuese una red de difracción por reflexión. Las mencionadas zonas iluminadas corresponden a los máximos de luz producidos por la interferencia.

En la figura 1a se ha hecho un esquema del dispositivo experimental, para obtener las zonas iluminadas en la pantalla. Al lado se ha situado una fotografía de la imagen en la pantalla.

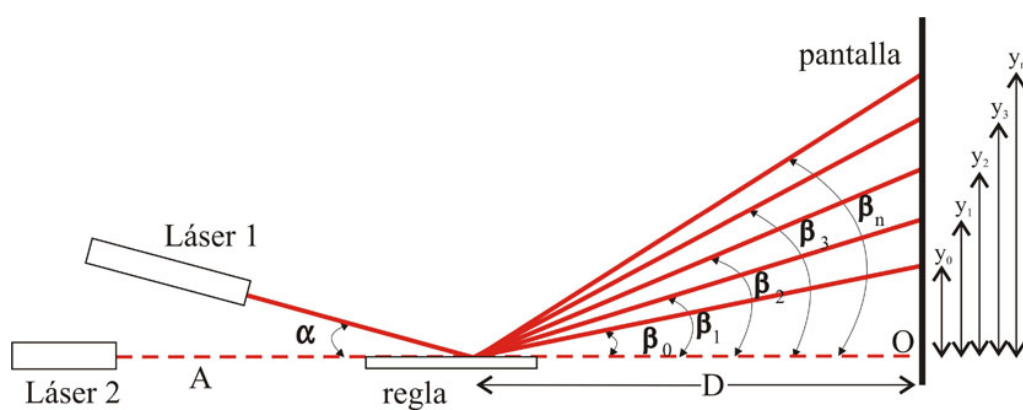


Fig. 1.a

El láser 1 envía un haz de luz que incide sobre las divisiones de la regla con un ángulo α .

El láser 2 envía un haz de luz de referencia que sigue la línea AO , e incide en la pantalla en el punto O .

En la pantalla aparece un disco luminoso en O y máximos de luz sucesivos a las distancias de O , y_0 , y_1 , y_2 , y_3 ..., y_n , a tales distancias les corresponden los ángulos β_0 , β_1 , β_2 , β_3 β_n .

La distancia del láser 1 a la regla es de unos centímetros, la distancia D en cambio es superior a 3 metros.

La figura 1b es una fotografía de la disposición real de los láseres y de la regla. Es una vista lateral del dispositivo experimental. El láser 1 es el que tiene forma cilíndrica y el láser 2 aparece debajo del anterior.

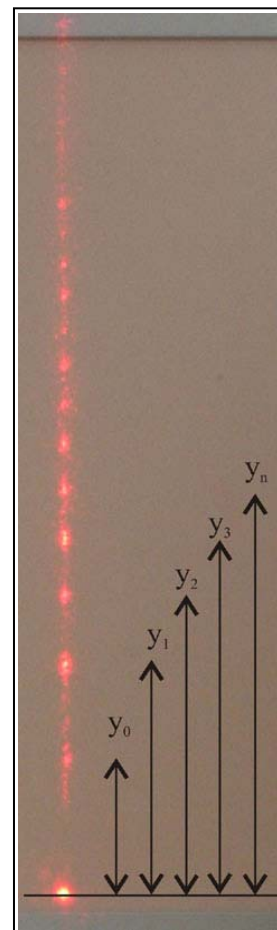




Fig. 1b



Fig. 1c

La figura 1c es una fotografía ampliada del haz de luz del láser 1 al incidir sobre la regla

La figura 1d es una fotografía del dispositivo experimental hecha por detrás de los láseres. En primer término aparece la parte posterior del láser 2, situado horizontal y más bajo que el otro y en segundo término la misma parte del láser 1, más lejos se aprecia un trozo de la regla y en el fondo, la pantalla, donde se recogen los máximos de luz debidos a la interferencia

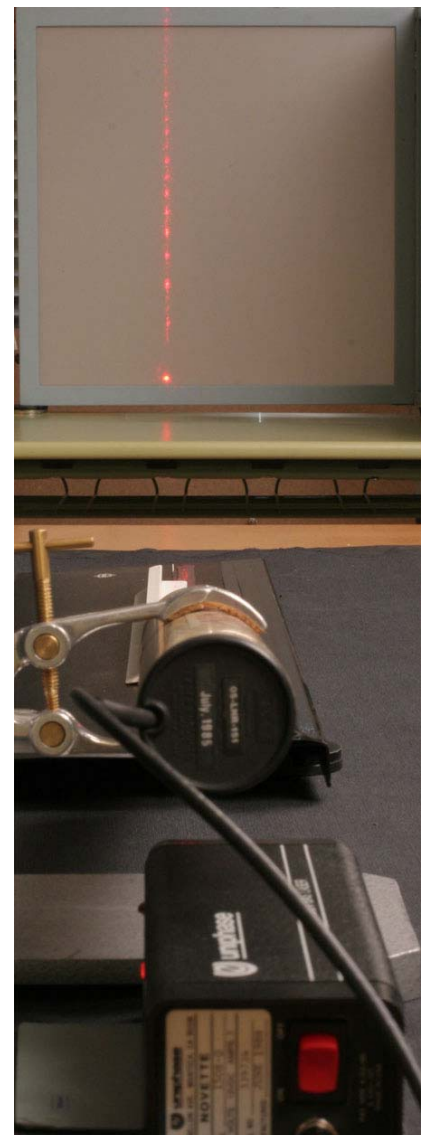


Fig.1d

La figura 1e es una fotografía lateral semejante a la de la fig1b. La diferencia es que se ha colocado una caja transparente con humo con la finalidad de observar los haces de luz emitidos por los láseres.



Fig. 1e

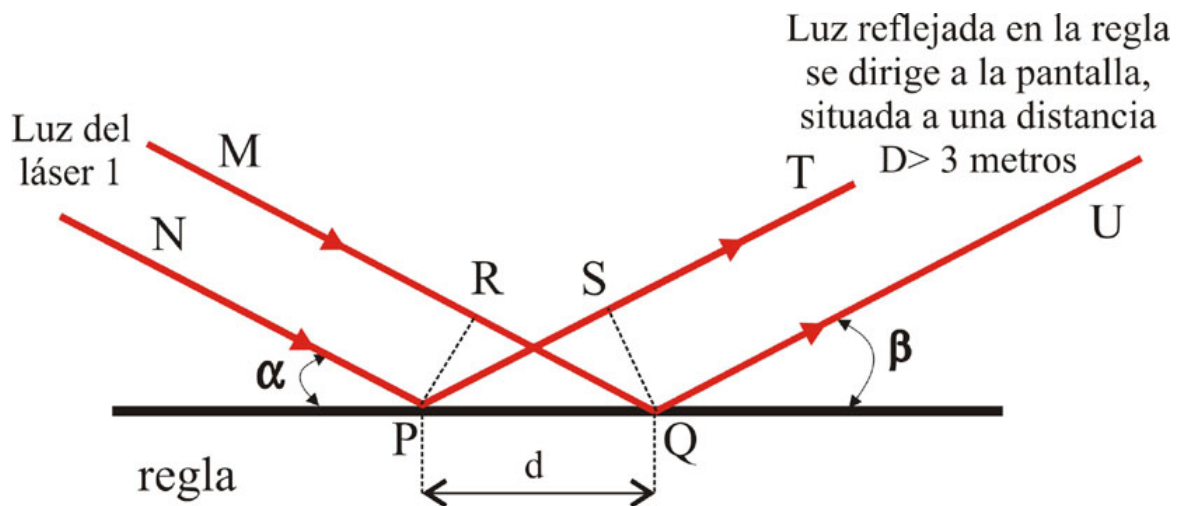


Fig.2

La medida de la longitud de onda del láser de He-Ne se obtiene a partir de las medidas de y , d , y D . En el esquema de la figura 2, los haces de luz paralelos MPST y NRQU chocan contra la regla sobre dos divisiones sucesivas de la misma cuya distancia es d (en nuestro experimento $d = 0,5 \text{ mm}$), con el mismo ángulo de incidencia α y siendo reflejados con el mismo de reflexión β . El segmento PR es perpendicular al NRQ y el segmento QS es perpendicular al PST.

De la figura 2 se deduce que la diferencia de marcha entre los dos trenes de onda es:

$$RQ - PS = d \cos \alpha - d \cos \beta$$

Si los dos frentes de onda interfieren constructivamente, al llegar a la pantalla, darán lugar a un máximo de intensidad sobre la pantalla. Esto conlleva que la anterior diferencia de marcha sea un múltiplo entero de la longitud de onda de la luz del láser:

$$d(\cos \alpha - \cos \beta) = n\lambda \quad (1)$$

De la ecuación (1) se deduce que si $\alpha = \beta$, $n=0$ y el máximo obtenido en la pantalla aparece a una altura y_0 , respecto del punto O. Este es el máximo de orden $n = 0$.

Si nos fijamos en la figura 1a y tenemos presente que D es una distancia de varios metros, podemos escribir:

$$\cos \alpha = \cos \beta_o = \sqrt{1 - \sin^2 \beta_o} = \left(1 - \frac{y_o^2}{D^2}\right)^{\frac{1}{2}} \approx 1 - \frac{y_o^2}{2D^2}$$

$$\cos \beta_n = \sqrt{1 - \sin^2 \beta_n} = \left(1 - \frac{y_n^2}{D^2}\right)^{\frac{1}{2}} \approx 1 - \frac{y_n^2}{2D^2}$$

Llevando estas dos últimas ecuaciones a la (1), resulta:

$$d \left(1 - \frac{y_o^2}{2D^2} - 1 + \frac{y_n^2}{2D^2}\right) = n\lambda \quad \Rightarrow \quad y_n^2 - y_o^2 = \frac{2D^2\lambda}{d}n \quad (2)$$

En la ecuación (2), d es un dato conocido ($d=0,5 \text{ mm}$), y si mantenemos D constante y medimos esa distancia y medimos también las distintas y_n (y_o, y_1, y_2, \dots), la representación gráfica de $y_n^2 - y_o^2$ en el eje de ordenadas frente al entero n en abscisas, se obtiene una línea recta cuya pendiente vale $\frac{2D^2\lambda}{d}$, y de ésta se obtiene el valor de la longitud de onda del láser.

Si medimos solamente y_o e y_1 , para distintas distancias D de la pantalla, resulta que el valor del entero n es 1, y la ecuación (2) adquiere la forma siguiente:

$$y_1^2 - y_o^2 = \frac{2\lambda}{d}D^2 \quad (3)$$

La ecuación (3) nos indica que al representar $y_1^2 - y_o^2$ en el eje de ordenadas frente a los correspondientes valores de D^2 en el eje de abscisas, se obtiene una línea recta de pendiente $\frac{2\lambda}{d}$ y de ella podemos determinar la longitud de onda de la luz del láser.

Medidas

Las fotografías 1 a 5 para la toma de datos corresponden a los máximos que se observan en la pantalla. La señal de referencia O (figura 1a) aparece en la pantalla como un círculo y las siguientes hacia arriba tienen forma irregular.

Primera parte

En las fotografías 1 y 2 de la toma de datos mida las distancias $y_0, y_1, y_2, y_3 \dots y_n$. Cada una de estas distancias se mide desde el centro del círculo en O , al centro de los distintos máximos irregulares. Para facilitar esta labor se han señalado en las fotografías unos pequeños círculos blancos que permiten localizar las posiciones con mayor facilidad. Las distancias anteriores no son las reales, por lo que es preciso establecer un factor de escala. En todas las fotografías aparecen dos líneas blancas horizontales, una arriba y otra abajo de la fotografía, cuya distancia vertical es de 47,8 cm. El factor de escala para las cinco fotografías es:

$$f = \frac{47,8 \text{ cm reales}}{\text{cm en la fotografía}}$$

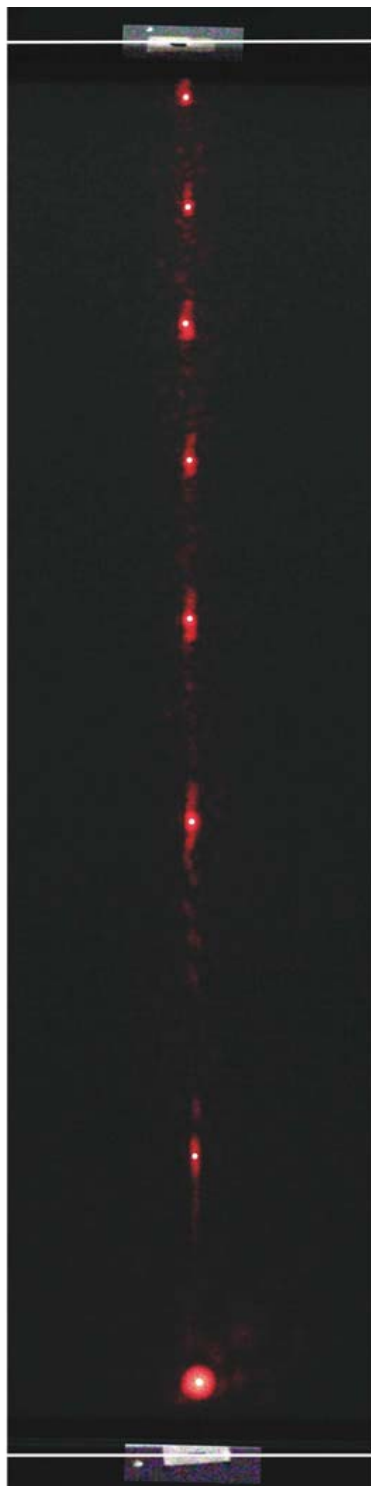
Las medidas que haya hecho en las fotografías 1 y 2 de toma de datos, las recoge en las tablas 1a y 1b. Rellene el resto de las columnas.

Segunda parte

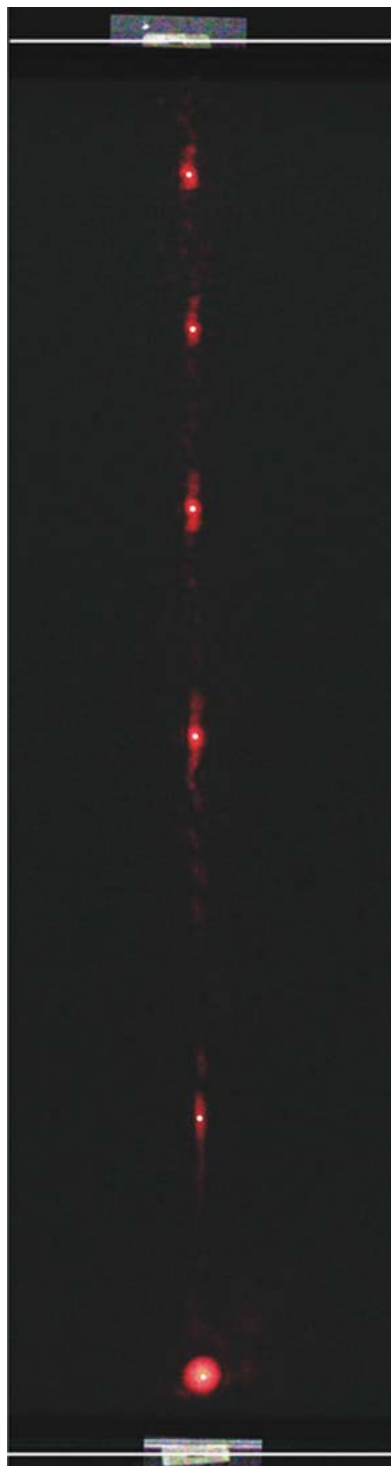
En las fotografías 1 a 5 de toma de datos mida las distancias $y_1 - y_0$, halle en cada fotografía el factor de escala y recoja los datos en la tabla 2. Las distintas distancias D se las facilitamos y han sido medidas con una cinta métrica, estimando que el error en la medida es de $\pm 2 \text{ cm}$.

Fotografías

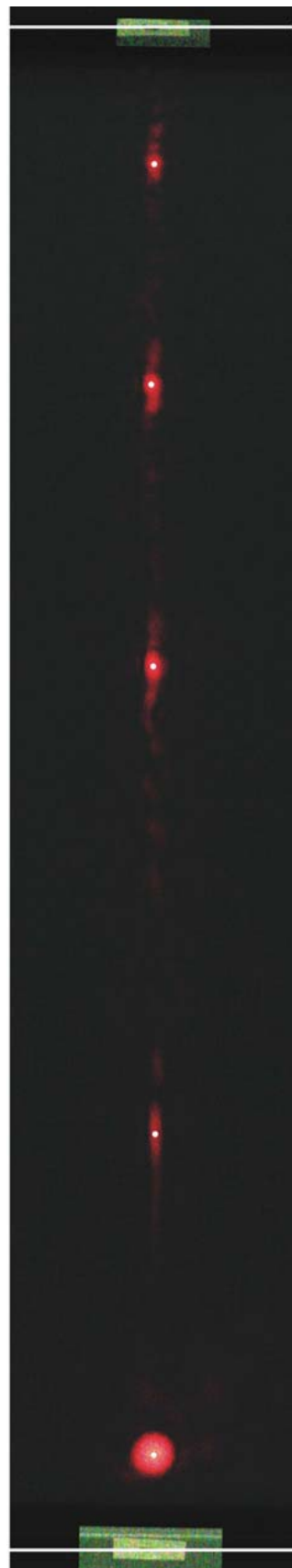
Fotografía 1 para
toma de datos



Fotografía 2 para
toma de datos



Fotografía 3 para
Toma de datos



Fotografía 4
para toma
de datos



Fotografía 5
para toma
de datos



Complete las tablas 1a y 1 b.

La tabla 1a corresponde a los datos obtenidos de la fotografía 1 de toma de datos

Tabla 1a

$$\text{Factor de escala en fotografía 1} = \frac{47,8 \text{ cm real}}{\text{cm en fotografía}}$$

n	0	1	2	3	4	5	6
$y_n/\text{cm en fotografía 1}$ ($n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$)							
$y_n/\text{cm reales}$							
$(y_n^2 - y_o^2)/\text{cm}^2 \text{ reales}$							

La tabla 1b corresponde a los datos obtenidos de la fotografía 2 de toma de datos

Tabla 1b

$$\text{Factor de escala en fotografía 2} = \frac{47,8 \text{ cm real}}{\text{cm en fotografía}}$$

n	0	1	2	3	4
$y_n/\text{cm en fotografía 1}$ ($n = 0, 1, 2, 3, 4$)					
$y_n/\text{cm reales}$					
$(y_n^2 - y_o^2)/\text{cm}^2 \text{ reales}$					

Tabla 2

La tabla 2 corresponde a los datos obtenidos de las fotografías 1 a 5 de toma de datos

D/m	3,48	3,94	4,54	5,78	6,11
D^2/cm^2					
y_o/cm en fotografía					
y_1/cm en fotografía					
Factor de escala					
y_o/cm reales					
y_1/cm reales					
$(y_1^2 - y_o^2)/cm^2$					

Gráficas

Parte primera

1.-Con los valores de la tabla 1a, represente en el eje de ordenadas $(y_n^2 - y_o^2)$ y en el de abscisas n . Determine la pendiente de la recta y el valor de λ , teniendo en cuenta que la luz de láser medida por otros procedimientos tiene una longitud de onda de $632,8\text{ nm}$, calcule el error cometido en la medida.

2.- Con los valores de la tabla 1b represente en el eje de ordenadas $(y_n^2 - y_o^2)$ y en el de abscisas n . Determine la pendiente de la recta y el valor de λ , teniendo en cuenta que la luz de láser medida por otros procedimientos tiene una longitud de onda de $632,8\text{ nm}$, calcule el error cometido en la medida

Parte segunda

3.- Con los valores de la tabla 2 represente en el eje de ordenadas $(y_1^2 - y_o^2)$ y en el de abscisas D^2 . Determine la pendiente de la recta y el valor de λ , teniendo en cuenta que la luz de láser medida por otros procedimientos tiene una longitud de onda de $632,8\text{ nm}$. Calcule el error cometido en la medida.

Parte tercera

En este experimento se conoce el valor de la longitud de onda de la luz del láser He-Ne, pero si no se conociese debemos dar dicho valor con su incertidumbre. Debe utilizar los datos que se deducen de las fotografías 1 a 5 para toma de datos. Las distancias D tienen un error de $\pm 2 \text{ cm}$. El lector debe estimar las incertidumbres en el resto de las medidas. Complete la tabla 3.

Tabla 3

D/m	$3,48 \pm 0,02$	$3,94 \pm 0,02$	$4,54 \pm 0,02$	$5,78 \pm 0,02$	$6,11 \pm 0,02$
D^2/cm^2 mayores					
D^2/cm^2 menores					
y_o/cm reales con su incertidumbre					
y_l/cm reales con su incertidumbre					
$(y_l^2 - y_o^2)/cm^2$ Valores mayores					
$(y_l^2 - y_o^2)/cm^2$ Valores menores					

Represente en el mismo gráfico: a) $(y_l^2 - y_o^2)/cm^2$ valores mayores (eje Y) frente a D^2 menores (eje X),
b) $(y_l^2 - y_o^2)/cm^2$ valores menores (eje Y) frente a D^2 mayores (eje X). Mande trazar las rectas para a) y b). Tome como valor más probable el valor medio de las dos pendientes y dé como incertidumbres de λ un número que sumado o restado del valor medio abarque a los dos anteriores.