

24.B- PROPIEDADES ONDULATORIAS DE LA LUZ



Los colores en muchas de las plumas de un colibrí no se deben al pigmento. La *iridiscencia* que provoca los colores refulgentes que con frecuencia aparecen en la garganta y pecho del ave se debe a un efecto de interferencia causado por las estructuras de las plumas. Los colores varían dependiendo del ángulo de vista.



THOMAS YOUNG
(1773 – 1829)

Un prodigio!!!

A los 2 años leía, a los 4 había leído la Biblia dos veces, a los 14 sabía 8 idiomas!!

Interferencia y fuentes coherentes

Supondremos dos fuentes que producen ondas de la misma amplitud y la misma longitud de onda λ (**monocromáticas**), y que además tienen **una relación de fase constante**, es decir **son coherentes**.

Los átomos en una fuente radian con una relación de fase no sincronizada y aleatoria, por tanto no son coherentes, sin embargo, la luz procedente de una sola fuente se puede dividir de manera que formen dos o más fuentes secundarias, de modo que no haya cambio en sus fases relativas.

Como las ondas electromagnéticas son transversales, se debe agregar que tengan la misma **polarización** (*que por ejemplo el campo eléctrico oscilen en el mismo plano y dirección*).

Sean dos fuentes S_1 y S_2 de igual amplitud, igual longitud de onda y la misma polarización a lo largo del eje y , equidistantes del origen.

Vamos a considerar la superposición de las ondas provenientes de estas dos fuentes, en distintos puntos teniendo en cuenta que el recorrido de la onda que sale de S_1 para llegar a los distintos puntos vale r_1 , mientras que las distancias de S_2 a los distintos puntos es r_2 .

Habrán casos en que la diferencia de recorridos Δr sea tal que las ondas lleguen en fase (porque recorren la misma distancia o que Δr es un número entero de longitudes de onda) por lo que llegan los máximos juntos (**interferencia constructiva**), o también en puntos en los que puedan llegar con una **diferencia de fase de medio ciclo**, por lo que cuando llega un máximo de una onda, llega un mínimo de la otra (**interferencia destructiva**).

Interferencia y fuentes coherentes

CONDICIONES PARA OBSERVACIÓN DE LA INTERFERENCIA:

Las fuentes deben ser:

Coherentes- deben mantener la fase constante respecto de otra.

Monocromáticas, es decir, de una sola longitud de onda.

Si las **ondas** emitidas por las dos fuentes coherentes son **transversales**, como las ondas electromagnéticas, entonces también se debe suponer que las ondas que producen ambas fuentes **tienen la misma polarización lineal** (se encuentran sobre la misma línea).

Las ondas de luz de una fuente ordinaria experimenta cambios de fase aleatorios en intervalos menores a un nanosegundo (10^{-9} s).

Las condiciones para interferencia (constructiva, destructiva, o algún estado intermedio) se mantienen sólo durante estos intervalos de tiempo.

Como el ojo humano no puede seguir cambios tan rápidos, no se observan efectos de interferencia. Se dice que estas fuentes de luz son **incoherentes**.

Las ondas de sonido de una sola frecuencia emitidas por dos altavoces colocados uno al lado del otro y activados por un solo amplificador pueden interferir entre sí porque los dos altavoces son coherentes, es decir, responden al amplificador de la misma forma en el mismo tiempo.

Interferencia de luz procedente de dos fuentes

Uno de los primeros experimentos para poner de manifiesto la interferencia de la luz de dos fuentes fue realizado por Thomas Young en 1801.

Montaje de Young:

fuelle emite luz monocromática; que se dirige a pantalla que tiene ranura angosta S_0 , de 1 mm aprox. ancho que ilumina otra pantalla con dos ranuras S_1 y S_2 , de ancho aprox. de $1 \mu\text{m}$ separadas una distancia del orden del milímetro o menos.

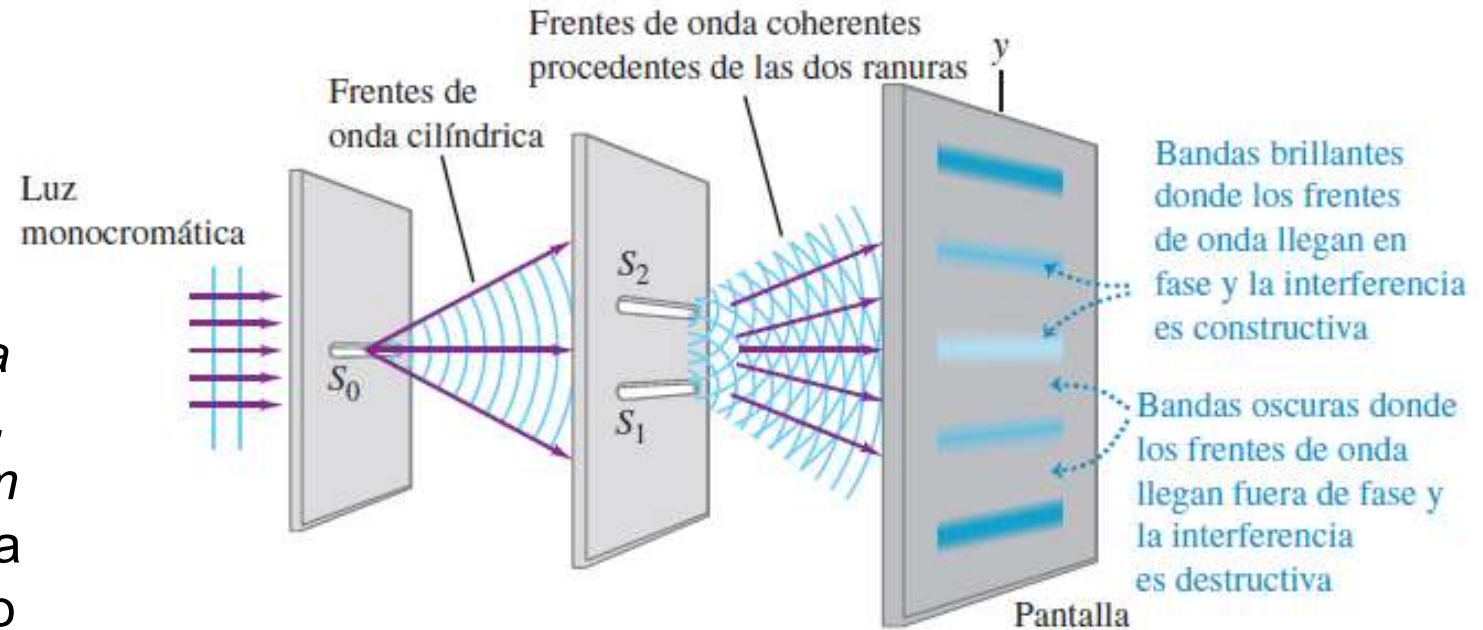
A partir de S_0 se propagan ondas que llegan a S_1 y S_2 en fase porque recorren distancias iguales desde S_0 .

Por lo tanto, las ondas que emergen de las ranuras S_1 y S_2 también están en fase siempre, por lo que S_1 y S_2 son fuentes coherentes.

La interferencia de las ondas de S_1 y S_2 genera un patrón en el espacio como el que aparece a la derecha de las fuentes en las figura.

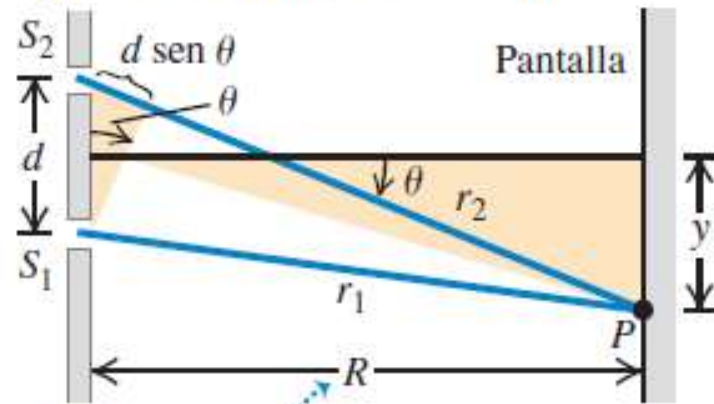
Para visualizar el patrón de interferencia, se coloca una pantalla a más de un metro de manera que la luz procedente de S_1 y S_2 incida sobre ella.

a) Interferencia de las ondas de luz que pasan a través de dos ranuras



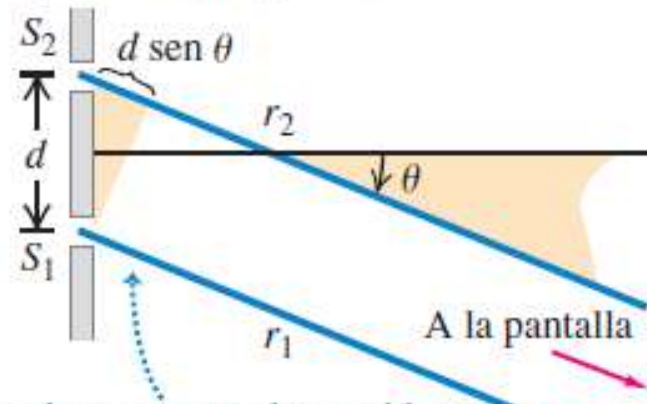
Interferencia de la luz procedente de dos fuentes

b) Geometría real (vista lateral)



En situaciones reales, la distancia R a la pantalla por lo general es mucho mayor que la distancia d entre las ranuras...

c) Geometría aproximada



... por lo que se puede considerar que los rayos son paralelos; en tal caso, la diferencia de la longitud de sus trayectoria es simplemente $r_2 - r_1 = d \sin \theta$.

La pantalla se ilumina con intensidad máxima en los puntos P en los que las ondas luminosas procedentes de las ranuras interfieren constructivamente, y será más oscura en los puntos donde la interferencia es destructiva.

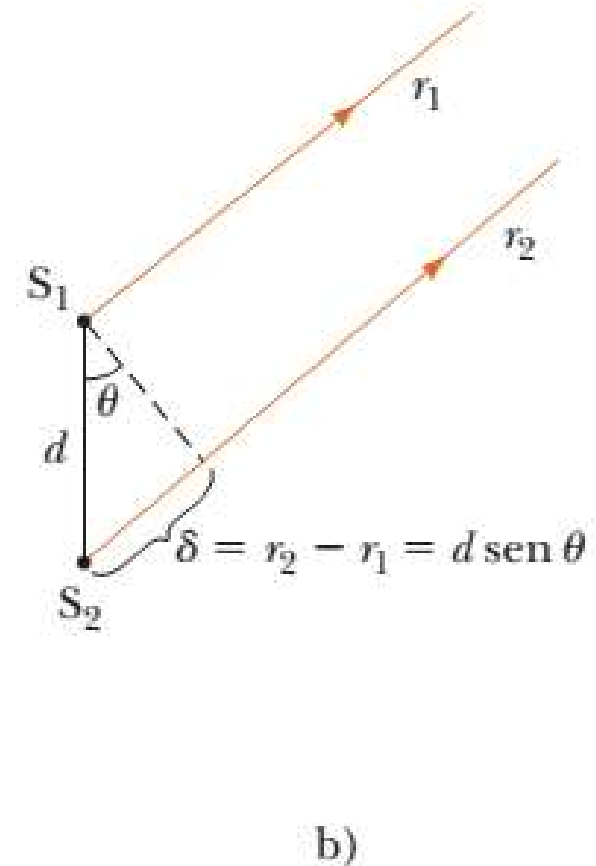
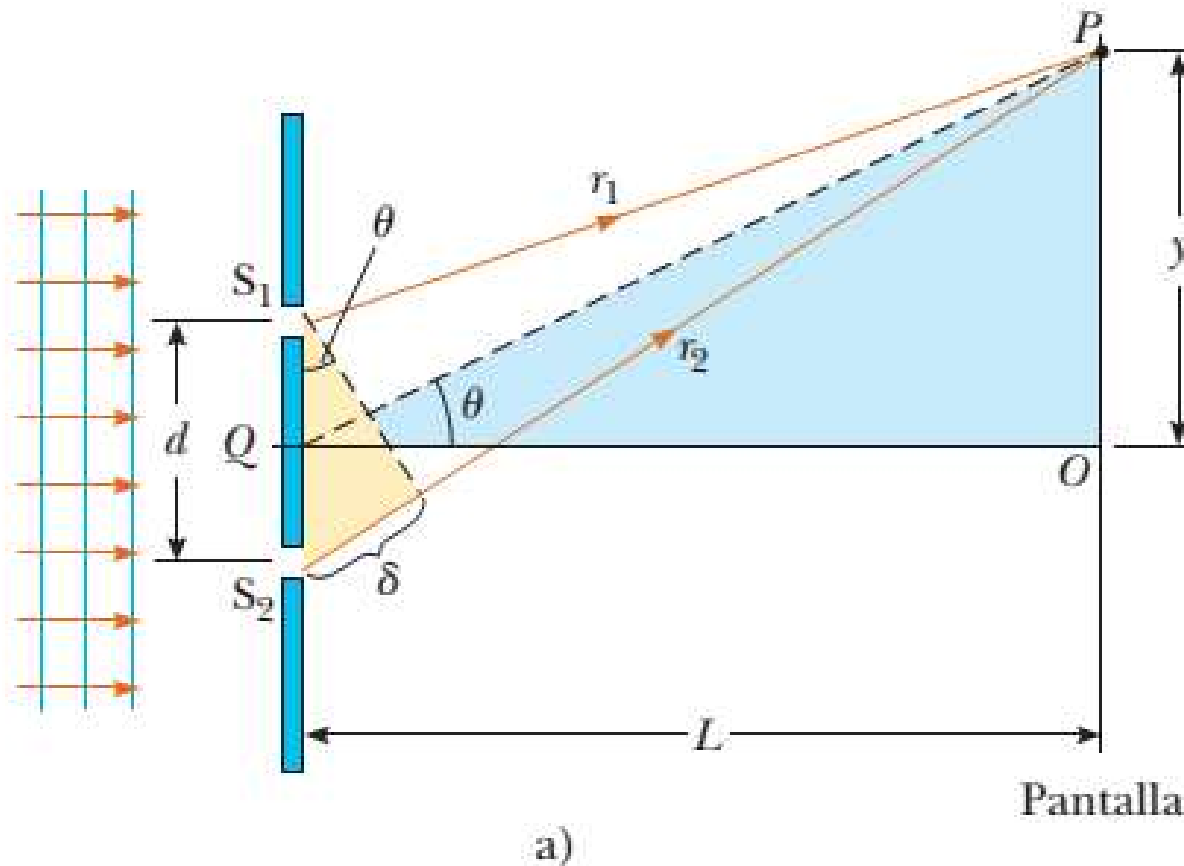
Suponemos que la distancia R (o L) de las ranuras a la pantalla es tan grande en comparación con la distancia d entre las ranuras, que las líneas de S_1 y S_2 a P son casi paralelas.

La diferencia de la longitud de las trayectorias está dada por:

$$\Delta r = r_2 - r_1 = d \sin \theta$$



EXPERIMENTO DE DOBLE RENDIJA DE YOUNG



a) Construcción geométrica del experimento de doble ranura de Young (que no está a escala).

b) Cuando supone que r_1 es paralelo a r_2 , la diferencia de trayectoria entre los dos rayos es $r_2 - r_1 = d \cdot \sin(\theta)$

Para que esta aproximación sea válida, es esencial que $L \gg d$.

Interferencia de la luz procedente de dos fuentes

$\Delta r = r_2 - r_1 = d \sin \theta$ θ ángulo entre una línea desde centro de las ranuras a la pantalla y la normal al plano de las ranuras.

Interferencia constructiva y destructiva con dos ranuras

Interferencia constructiva: en puntos donde diferencia de las trayectorias es un número entero de longitudes de onda, $m\lambda$, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

las regiones brillantes en la pantalla se presentan en ángulos θ en los que:

$$d \sin \theta = m\lambda \quad m = 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3 \dots$$

interferencia constructiva,
dos ranuras

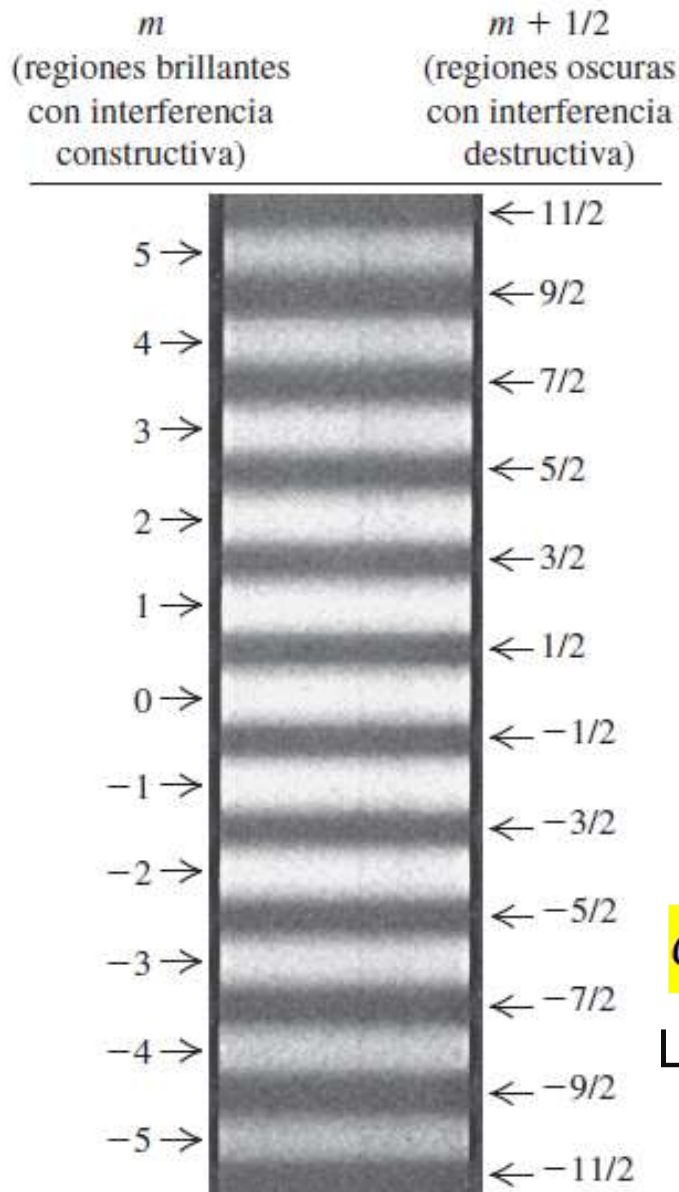
Interferencia destructiva: regiones oscuras en la pantalla en puntos para los que la diferencia de las trayectorias es un número semi-entero de longitudes de onda

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \quad m = 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3 \dots$$

interferencia destructiva,
dos ranuras

Los resultados del experimento de son válidos para *cualquier tipo de onda*, siempre y cuando la onda resultante de las dos fuentes coherentes se ubique en un punto que esté muy alejado en comparación con la separación d .

Interferencia de la luz procedente de dos fuentes



Patrón en pantalla: *sucesión de bandas brillantes y oscuras, o franjas de interferencia, paralelas a las ranuras S_1 y S_2 .*

El centro del patrón es una banda brillante que corresponde a $m = 0$; *este punto de la pantalla es equidistante a las dos ranuras.*

y_m *distancia entre el centro del patrón ($\theta = 0$) al centro de la m -ésima banda brillante.*

θ_m *valor correspondiente de θ ; así que:*

$$y_m = R \tan \theta_m$$

Como $y_m \ll R$, y θ_m es muy pequeño,
 $\tan \theta_m \cong \sin \theta_m$,

Entonces para ángulos pequeños:

$$d \sin \theta = m\lambda \quad d \frac{y_m}{R} = m\lambda$$

$$y_m = R \frac{m\lambda}{d}$$

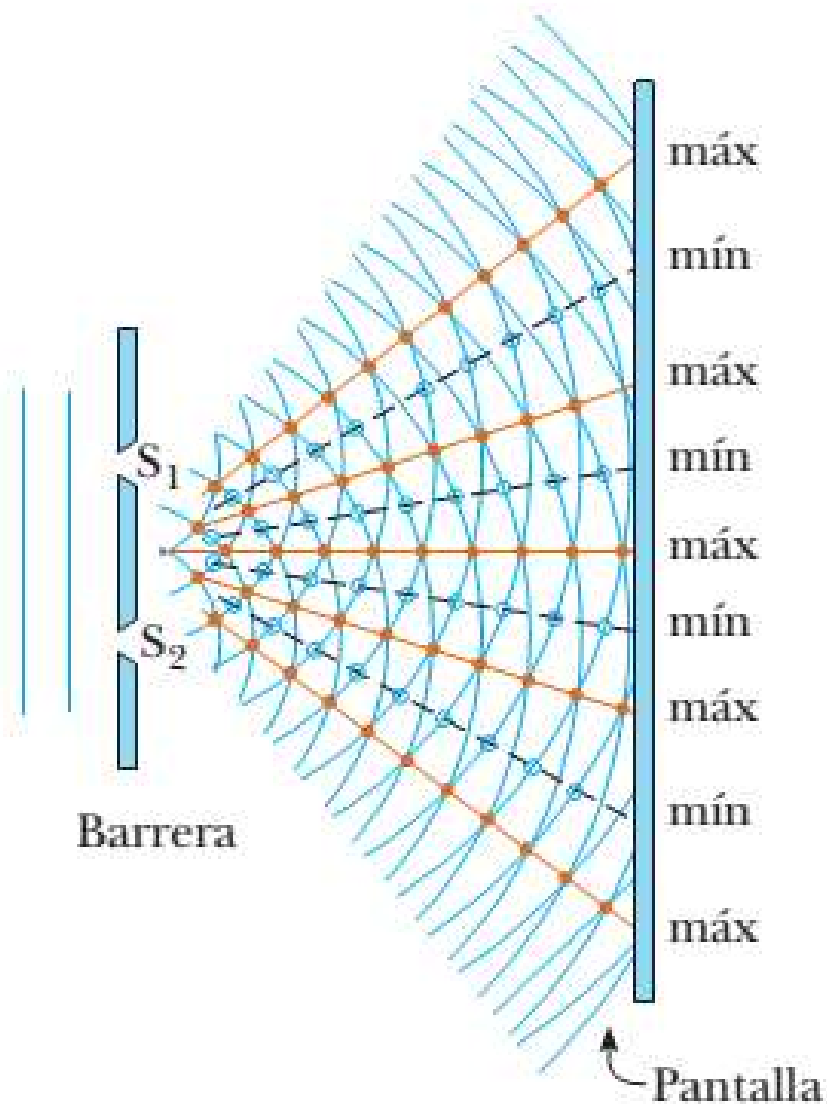
La separación entre franjas consecutivas: $\Delta y = \frac{R}{d} \lambda$

es la misma para máximos y mínimos

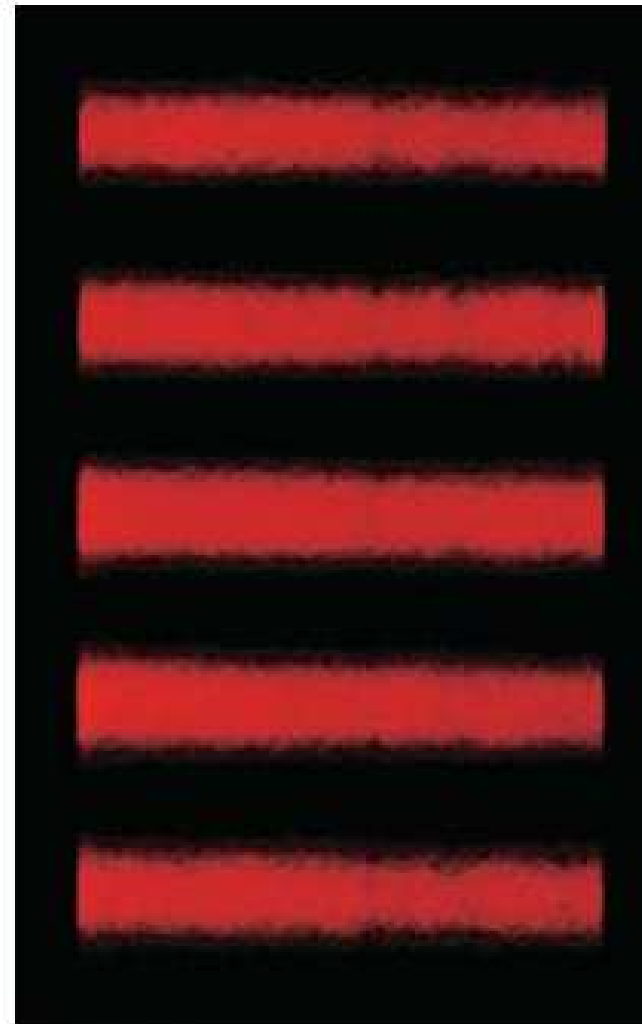
Es posible medir R y d , así como las posiciones y_m de las franjas brillantes, por lo que este experimento permite una medición directa de la longitud de onda λ .

El experimento de Young fue, de hecho, fue la primera medición directa de las longitudes de onda de la luz.

EXPERIMENTO DE DOBLE RENDIJA DE YOUNG



a)



b)

a) Diagrama esquemático del experimento de doble ranura de Young.

Las ranuras S_1 y S_2 se comportan como fuentes coherentes de ondas de luz que producen un patrón de interferencia en la pantalla (el dibujo no está a escala).

b) Amplificación del centro de un patrón de franjas formado en la pantalla.

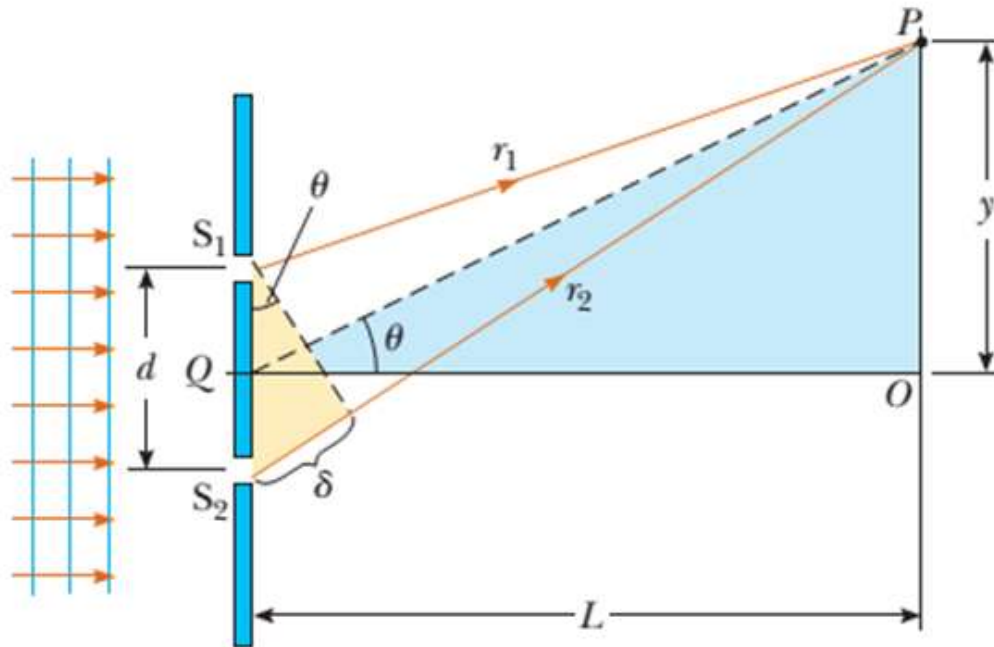
EXPERIMENTO DE DOBLE RENDIJA DE YOUNG

Diferencia de recorrido: $\delta = r_2 - r_1 = d \sin \theta$

Condición de máximos: $d \sin \theta_{brillante} = m\lambda$

Condición de mínimos: $d \sin \theta_{oscuro} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$ ($m = 0, \pm 1; \pm 2; \pm 3 \dots$)

Teniendo en cuenta que $\tan \theta = \frac{y}{L}$
y que los ángulos son pequeños de modo de poder aproximar:
 $\tan \theta \approx \sin \theta$ resulta



$$y_{brillante} = L \left(\frac{m\lambda}{d} \right)$$

