

Caracterización de fuentes de luz por medio del fenómeno de interferencia en una doble rendija

Juan C. Rojas V.* and Katherin A. Murcia S.**

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

(Dated: 18 de septiembre de 2024)

OBJETIVOS : comprobar la dualidad onda partícula de la luz; medir el patrón de difracción de doble rendija para un láser y para un fotón a la vez; comparar los patrones de difracción medidos con modelos de Fresnel/Feynman y Fraunhofer.

RESULTADOS : LÁSER [factor de cambio de intensidad entre máximos y mínimos con una vs. dos rendijas; patrón de difracción para doble rendija, rendija izquierda, rendija derecha; comparar con Fresnel/Feynman y con Fraunhofer; calcular λ láser] + FOTONES [patrón de difracción para una y dos rendijas; comparación con Fresnel/Feynman y con Fraunhofer; comparar λ luz obtenidos por cada método; tendencia máximo fotones vs. alto voltaje; tipo de distribución que sigue el conteo de fotones; cada cuánto llega un fotón vs. tiempo de vuelo > uno a la vez]

QUSEHIZOYCMOSEHIZO : LÁSER [medir misma posición con una vs. dos rendijas; registrar patrones de difracción; graficar; ajustes; calcular λ (¿cómo?)] + FOTONES [datos de simulación; graficar; ajustes; calcular λ (¿cómo?); incremental alto voltaje y registrar conteos y ruido; con datos de simulación graficar raíz conteo promedio vs. desviación estándar para 10 intensidades e identificar distribución; calcular 100 por ciento fotones, calcular tiempo de vuelo fotones, dividir y decir que llega uno a la vez]

ABSTRACT : El experimento de doble rendija pretende comprobar la dualidad onda partícula de la luz registrando los patrones de difracción para un láser y para un bombillo de muy baja intensidad cuando su luz se hace incidir sobre una y dos rendijas haciendo uso de un interferómetro de doble rendija de *TeachSpin*. Por un lado, al realizar el experimento con el láser es posible observar la naturaleza ondulatoria de la luz, pues se observa un patrón de interferencia propio de entidades ondulatorias. Por otro lado, al realizar el experimento con el bombillo de baja intensidad es posible observar la naturaleza corpuscular de la luz, pues es posible verificar que sólo un fotón alcanza el detector en un determinado tiempo. Los resultados obtenidos fueron, además, comparados tanto con la teoría de Fraunhofer como con la de Feynman y Fresnel, obteniendo [¿¿¿¿QUÉ SE OBTUVO????]. Asimismo, se calcularon los valores experimentales para la longitud de onda del láser y la del bombillo por medio de la(s) relación(es) [¿¿¿¿FEYNMAN Y FRESNEL O FRAUNHOFER OOOO????], obteniendo, para el láser [RESULTADO1], que está a [TANTOS1] sigmas del valor reportado por el fabricante, y, para el bombillo [RESULTADO2], que está a [TANTOS2] sigmas del valor reportado por el fabricante.

I. INTRODUCCIÓN Y ESTADO DEL ARTE

KATHERIN

$$n\lambda = d \sin(\theta_n) = \frac{dy_n}{\sqrt{y_n^2 + L^2}} \quad (1)$$

$$I \propto |\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2|^2 = |\mathbf{E}_1|^2 + |\mathbf{E}_2|^2 + 2\mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2 \quad (2)$$

II. MONTAJE EXPERIMENTAL

Para el experimento desarrollado en este informe se utilizó el montaje mostrado en la figura 2. En esta se

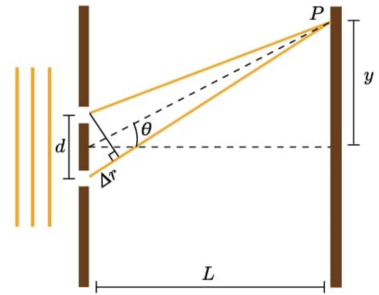


Figura 1. Diagrama de un montaje de doble rendija. Imagen obtenida de [1].

muestran las conexiones hechas para la realización del experimento.

Como primer momento del experimento, se hizo la alineación del láser dentro del interferómetro. La figura 3 muestra de manera esquemática la configuración dentro

* Correo institucional: jc.rojasv1@uniandes.edu.co

** Correo institucional: k.murcia@uniandes.edu.co

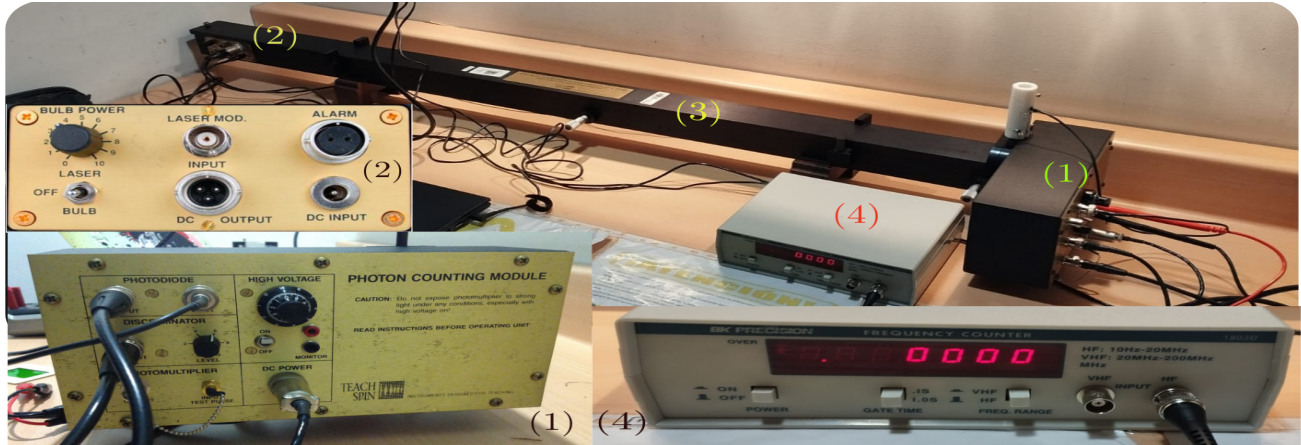


Figura 2. Montaje del experimento del fenómeno de interferencia de la luz. En la imagen se pueden diferenciar: (1) Módulo de detección, (2) módulo fuente, (3) interferómetro y (4) contador de frecuencias (TTi). Las conexiones mostradas se siguen como: Para el módulo de detección, la entrada de la división “Photodiode” está conectada al obturador, mientras que su salida se conecta, por medio de un cable BNC a cocodrilo, a un multímetro. Por otro lado, para la división “Discriminator” está conectada al TTi (4). Para la división, “Photomultiplier” tiene una salida que muestra una señal análoga que corresponde a un pulso TTL dado por la salida del discriminador. La división “DC Power” está conectada al módulo de fuente (2) y esta provee de energía al módulo de detección. Además, la división “High Voltage” tiene dos salidas para que se pueda medir el voltaje usado. Por último, en cuanto a las conexiones del módulo fuente (2), se tiene que la entrada DC está conectada a la corriente y la conexión de alarma está conectada al módulo de detección (1).

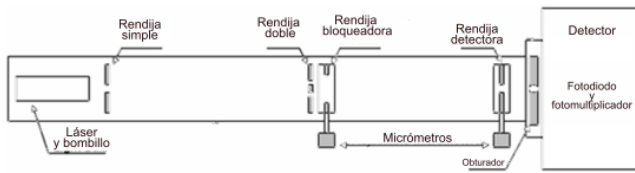


Figura 3. Esquema dentro del interferómetro. De izquierda a derecha se pueden encontrar: módulo donde se encuentran las fuentes de luz ya sea láser o bombillo; un orificio para poner una rendija simple; dos orificios, el primero para ubicar una rendija doble y un segundo para ubicar una rendija bloqueadora; seguidamente se ubica una rendija simple que sirve como detectora del patrón de interferencia; y, por último, se encuentra el módulo de detección. Nótese, además, que la rendija bloqueadora y la rendija detectora están acopladas, cada una, a un micrómetro.

del interferómetro. Para hacer el proceso de alineación se necesitó comprobar, usando las tarjetas especializadas para ver el haz de luz, que este pasara efectivamente por la rendija simple inicial y que se muestre un patrón de interferencia luego de la rendija bloqueadora y que este llegue a la rendija detectora.

Una vez alineado el haz, se usó el micrómetro asociado a la rendija bloqueadora para que el patrón de interferencia de la doble rendija pudiese pasar; una vez se verificó que el patrón de interferencia se proyectó en la rejilla detectora, se hizo un barrido desde $y = (0.000 \pm 0.005)$ mm hasta $y = (12.400 \pm 0.005)$ mm

en intervalos de (0.100 ± 0.005) mm, midiendo en cada posición el voltaje arrojado por la salida del “Photodiode” del módulo detector. Este proceso se hizo dos veces más, bloqueando en un caso la rendija izquierda y luego la rendija derecha.

Como segunda fase del experimento se utilizó el bombillo con filtro verde para medir “un fotón a la vez”. Para esto, se hizo la calibración del discriminador del módulo de detección por medio de un oscilador para que el TTi pudiese contar los fotones que llegan al obturador y al fotomultiplicador. Luego de hacer la calibración, se hizo un proceso análogo que para el láser.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados obtenidos a partir de la medición y simulación de los patrones de difracción e interferencia de la luz al pasar a través de una y dos rendijas durante las dos secciones del experimento son desarrollados a continuación.

A. Medición con láser

Tras configurar el interferómetro para usar el láser como fuente de luz y el fotodiodo como detector, además de alinear sus componentes, se empezó por medir el voltaje para el máximo de intensidad en la configuración de una rendija, $I_1(\theta = 0)$, y dos rendijas,

$I_2(\theta = 0)$, obteniéndose la relación $I_2(\theta = 0) = \frac{5I_1(\theta=0)}{2}$. Así pues, es posible determinar que la intensidad medida en un máximo para la configuración de doble rendija es mayor que la suma de las intensidades individuales de cada rendija, lo que sería posible bajo el fenómeno ondulatorio de interferencia, descrito en la ecuación (2). En virtud de lo anterior, resulta posible establecer que la luz presenta un comportamiento ondulatorio. Es de notar que no se obtuvo la relación extrema de $I_2(\theta = 0) = 4I_1(\theta = 0)$ dado que la alineación del aparato no fue perfecta.

A continuación, para la configuración de doble rendija, se midió la posición del primer máximo de intensidad con respecto al máximo central, $y_1 = (700 \pm 7) \times 10^{-6} \text{m}$, con objetivo de calcular la longitud de onda del láser siguiendo la ecuación (1) con $n = 1$, $d = (457 \pm 1) \times 10^{-3} \text{m}$ y $L = (500 \pm 1) \times 10^{-3} \text{m}$. Así pues, se obtuvo un va-

lor de $\lambda = (0.680 \pm 0.005) \mu\text{m}$ para la longitud de onda del láser, valor preciso y exacto que se encuentra a un sigma del valor reportado por el fabricante de $\lambda = (0.670 \pm 0.005) \mu\text{m}$.

Posteriormente, se registraron los patrones de difracción para la rendija izquierda, la rendija derecha y ambas rendijas, comparando los resultados obtenidos con los modelos de Fraunhofer y de Feynman y Fresnel, como se puede observar en las figuras ??

- ajustes de Fresnel/Feynman y Fraunhofer
- comprobar comportamiento ondulatorio de la luz

B. Simulación con un fotón a la vez

IV. CONCLUSIONES

-
- [1] J. P. Salas and Y. Hernández, *Ondas y fluidos* (Universidad de los Andes, 2023).

APÉNDICE DE CÁLCULO DE ERRORES

A. Incertidumbre de los aparatos de medición

Se tomaron como incertidumbres del voltímetro y posición posición del micrómetro como $\sigma_V = 0.001 \text{ V}$ y $\sigma_y = 0.005 \text{ mm}$, respectivamente. Estos valores corresponden a la cantidad mínima que pueden medir los instrumentos que se utilizaron en el experimento.

B. Propagación de error para valores calculados

Se hicieron los cálculos de propagación de error siguiendo la ecuación

$$\sigma_f = \sqrt{\sum_{i=0}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2} \quad (3)$$

donde las variables de la función $f(x_0, \dots, x_n)$ tienen incertidumbre σ_{x_i} .

Así pues, se usó la ecuación (3) para calcular la incertidumbre del cálculo de θ y la longitud de onda para el láser usado, λ . Por tanto, las incertidumbre para θ y λ son:

$$\sigma_\theta = \frac{1}{L^2 + y^2} \sqrt{L^2 \sigma_y^2 + y^2 \sigma_L^2}$$

y

$$\sigma_\lambda = \sqrt{\sin^2 \theta \sigma_d^2 + d^2 \cos^2 \theta \sigma_\theta^2}.$$

Donde L es la distancia entre la doble rendija y la pantalla de detección; y es la distancia entre la mitad de la pantalla y la rendija de detección; y θ es el ángulo que se forma entre la posición del máximo de intensidad, la doble rendija y la rendija detectora. Para un mayor entendimiento, véase la figura 1.