

Doble Rendija

David Santiago Pachon Ballen^{*} and Sergio Montoya Ramírez^{**}

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

(Dated: 10 de abril de 2023)

En este experimento se quiso ver y medir un patrón de interferencia para una doble rendija y para una rendija simple, lo último con la intención de comparar ambas mediciones con el modelo teórico de Fraunhofer. Se lograron medir ambos patrones mediante un montaje en el que un láser de 670nm y 1mW pasa por una rendija simple una doble y una bloqueadora, de manera tal que esta última permita el paso de la luz de ambas rendijas o de una, y luego esta pasa por una última rendija detectora tras la cual hay un fotodiodo capaz de medir el voltaje de la luz láser que llegue. Así se logran medir voltajes en tanto la rendija detectora permita el paso de la luz láser parcial o totalmente, lográndose un máximo voltaje cuando su paso es total. Realizando ajustes sobre los datos, se lograron comparar con la teoría de Fraunhofer, y se observó que las tendencias de su modelo se corresponden con la medición de doble rendija. Dado que, si se corresponden correctamente la ubicación del máximo central y igualmente la de los máximos y mínimos locales. En el caso de rendija sencilla se corresponde correctamente la ubicación del máximo central, pero contrariamente la de los máximos y mínimos locales no lo hacen, ya que no los hay. Por último, se obtuvo que los valores teóricos del modelo de Fraunhofer estuvieron (sobre/debajo de) los experimentales.

I. INTRODUCCIÓN

La luz presenta en su naturaleza un comportamiento tanto de onda como de partícula, presenta un comportamiento de partícula en los casos en los que interacciona con la materia en cantidades discretas como en el efecto fotoeléctrico, pero presenta un comportamiento de onda en los casos en los que es reflejada, refractada o como en este experimento difractada. Lo expuesto es lo que se llama la dualidad onda partícula, el que la luz tenga características de comportamiento tanto de onda como de partícula. En el caso del experimento de la doble rendija, en su primera realización a manos de Thomas Young se vio un comportamiento de la luz ondulatorio, esto ya que al atravesar ambas rendijas la luz mostraba un patrón de interferencia como pasa con las ondas. Posteriormente, repeticiones del experimento que incluyeran la detección de los fotones previos a pasar por las rendijas, hizo que se obtuvieran resultados en los que la luz se comportaba como partícula, esto al no describirse un patrón de interferencia sino una franja de luz. Sin embargo, en el caso en que la luz monocromática pasa por una rendija esta tiene un máximo central y muchos máximos locales más pequeños y tenues a ambos lados [2]. La Electrodinámica cuántica logra unificar la dualidad onda partícula al hacer la descripción de la luz mediante campos cuánticos con propiedades de onda y de partícula [1]. La importancia del experimento de la doble rendija es que sintetiza en un único montaje experimental la dualidad onda partícula de la luz. Pese a lo último en este caso particular lidiaremos únicamente

con la naturaleza ondulatoria de la luz.

En este experimento estudiaremos la naturaleza ondulatoria de la luz al observar el fenómeno de difracción de esta, el fenómeno de difracción solo se logra apreciar con mayor claridad cuando la longitud de onda se corresponde en magnitud con la apertura por la cual se difracta [2], como ocurre en este experimento. En el caso de que la luz pase por una única rendija su patrón de interferencia se da con un punto central de máxima intensidad y unos subsecuentes picos de progresiva menor intensidad en ambas direcciones. Siendo posible encontrar los puntos de intensidad cero con la fórmula

$$a \sin(\theta) = m\lambda \quad (1)$$

siendo a el ancho de la rendija, θ el ángulo relativo a la dirección original de la luz, λ la longitud de onda y m cualquier entero no nulo [2]. Por otro lado, en el caso de la doble rendija vemos más claramente ambos fenómenos de difracción y de interferencia. Al actuar cada rendija como fuente de onda, ya que todas las rendijas son tan estrechas que pueden considerarse fuentes puntuales. En este caso el patrón de interferencia obtenido se da por las interferencias constructivas y destructivas de la luz. Siendo las constructivas las que sucede cuando las ondas chocan y se superponen en fase, es decir cuando la diferencia de fase entre ambas ondas es un múltiplo par de π radianes. Y por otro lado, la interferencia destructiva de la luz se da cuando la superposición de las ondas se da en antifase y se obtiene una onda menor a las originales. En el caso de la intensidad se tiene que: Intensidad siendo constructiva:

$$I \propto (E_1)^2 + 2(E_1)(E_2) + (E_2)^2 [1] \quad (2)$$

Intensidad con única rendija:

^{*} Correo institucional: d.pachonb@uniandes.edu.co

^{**} s.montoyar2@uniandes.edu.co

$$I \propto (E_1)^2 = (E_2)^2 \quad (3)$$

Esto nos anticipa que la intensidad máxima para una doble rendija es cuatro veces mayor a la correspondiente para una única.

La ley de Huygens nos habla de que cuando una onda llega a una rendija esta al sufrir difracción actúa como una nueva fuente de onda. De esta manera entra en juego a como el ancho de las rendijas y I_0 como la intensidad máxima, y así se tiene que.

$$I = I_0 * \left(\frac{\sin(\frac{\pi * a}{\lambda} * \sin(\theta))}{\frac{\pi * a}{\lambda} * \sin(\theta)} \right)^2 \quad (4)$$

Preguntas:

1. Lo primero que podemos notar es que $r_2 = r_1 + \delta$ por lo tanto nos podemos centrar en obtener el resultado para r_1 . Para esto, lo que podemos hacer es subir la mediatriz que está en la mitad de d de modo tal que nos quede un triángulo con hipotenusa r_1 , cateto 1 L y cateto $2y - \frac{d}{2}$ con esto ya en mente podemos simplemente sacar el resultado de r_1 con teorema de pitágoras

Por otro lado

$$\begin{aligned} r_2^2 - r_1^2 &= (r_2 - r_1)(r_2 + r_1) \\ 2r_1\delta + \delta^2 &= \delta(r_2 + r_1) \\ 2r_1 + \delta &= (r_2 + r_1) \\ \delta &= \frac{r_2 + r_1}{2r_1} \end{aligned}$$

2. La interferencia constructiva de la luz sucede cuando las ondas chocan y se superponen en fase, es decir cuando la diferencia de fase entre ambas ondas es un múltiplo par de π radianes. Por otro lado, la interferencia destructiva de la luz se da cuando la superposición de las ondas se da en antifase y se obtiene una onda menor a las originales.

Intensidad siendo constructiva:

$$I \propto (E_1)^2 + 2(E_1)(E_2) + (E_2)^2$$

Intensidad con única rendija:

$$I \propto (E_1)^2$$

o

$$I \propto (E_2)^2$$

3. Para tener interferencia constructiva ϕ tiene que lograr ser un múltiplo par de π radianes.

Llegamos a

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} * d * \sin(\theta)$$

por medio de reemplazar

$$E_1 = E_0 \sin(\omega * t)$$

$$E_2 = E_0 \sin(\omega * t + \phi)$$

en

$$I \propto (E_1)^2 + 2(E_1)(E_2) + (E_2)^2$$

llegamos así a

$$E_0^2 \sin^2(\omega * t) + E_0^2 \sin^2(\omega * t + \phi) + 2E_0^2 \sin^2(\omega * t) \sin(\omega * t + \phi)$$

que con ϕ múltiplo par de π radianes queda.

$$E_0^2 \sin^2(\omega * t) + E_0^2 \sin(\omega * t) \cos(\phi) + 2E_0^2 \sin^2(\omega * t) \cos(\phi)$$

si reemplazamos

$$\omega = \frac{2\pi}{\lambda}$$

así obtendríamos

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} * d * \sin(\theta)$$

4. Se tiene

$$E = E_1 + E_2$$

$$I \propto E^2 >_t$$

$$I = E^2 = E_1^2 + E_2^2$$

así

$$I = I_0 \cos^2(\phi) = I_0 \cos^2\left(\frac{\pi}{\lambda} * d \sin(\theta)\right)$$

5. La ley de Huygens nos habla de que cuando una onda llega a una rendija esta al sufrir difracción actúa como una nueva fuente de onda. De esta manera entra en juego a como el ancho de las rendijas y nos termina interesando la razón entre $\sin(\phi)$ y su argumento.

$$I = I_0 * \left(\frac{\sin(\frac{\pi * a}{\lambda} * \sin(\theta))}{\frac{\pi * a}{\lambda} * \sin(\theta)} \right)^2$$

6.

Un fotodiodo es esencialmente una de las muchas aplicaciones del efecto fotoeléctrico. En esencia un fotodiodo es una lámina de metal a la cual llegan fotones que hacen que este produzca una corriente eléctrica. Ahora bien, por la parte de la ingeniería tiene más detalles como los materiales de los que se hace y el uso de lentes y filtros que permiten cambiar los efectos. Sin embargo, lo que a nosotros nos interesa es la simplificación previamente dada.



Figura 1. Montaje Experimental en este aparece en orden Un laser de 670 nm y 1mW y tres soportes para rendijas, en orden van la rendija simple, la doble, la bloqueadora y la rendija detectora. Al final de esta se encuentra un fotodiodo que nos permitirá tomar los datos del voltaje

II. MONTAJE EXPERIMENTAL

Antes de cualquier cosa se debe familiarizar con el montaje experimental. Para esto se retira la tapa y se revisan los siguiente elementos: Un láser de 670 nm y 1mW y tres soportes para rendijas, en orden van la rendija simple, la doble, la bloqueadora y la rendija detectora. Al final de esta se encuentra un fotodiodo que nos permitirá tomar los datos del voltaje. Una vez tenemos esto es momento de organizar las rendijas en el orden expuesto previamente.

Una vez tenemos esto y revisamos que el laser esta alineado como deseamos. Tomamos los datos para dos rendijas. Para ello utilizaremos la rendija bloqueadora de manera tal que esta permita el paso de ambas rejillas de la rendija doble para que se cree el patrón de interferencia. Por ultimo con la rendija detectora cubrimos parcialmente el haz de luz resultante y con el fotodiodo medimos el voltaje generado.

Después de esto, deseamos tomar los datos para una sola rendija. Para lograr esto volveremos a utilizar la rendija bloqueadora pero esta vez tendra como papel interrumpir el paso de una de las rejillas. Con esto ya acomodado se vuelven a tomar los datos tal como antes y se registran.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para este laboratorio lo primero que deseamos es hacer una gráfica del patrón observado cuando el haz de luz pasa por dos rendijas. Para esto, la rendija bloqueadora no debe cubrir ninguna de las rendijas previas y su función sera simplemente limitar el área de acción de

la interferencia. Luego de esto, se toman los datos y se gráfica para esto, utilizamos la librería Matplotlib. Con lo cual se obtiene la gráfica 2

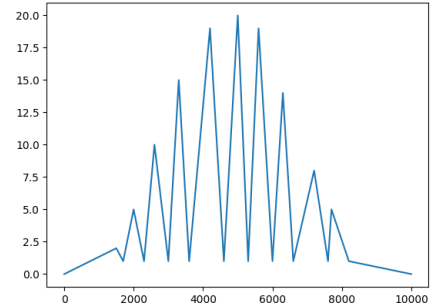


Figura 2. Gráfica del Voltaje contra la Distancia para una doble rendija. Estos datos se obtuvieron haciendo que la rendija bloqueadora no tapara ninguna de las rendijas y se gráfico con Matplotlib

Luego de esto, deseamos describir el patrón cuando el fotón pasa únicamente por rendijas simples. Para esto, se acomoda la rendija bloqueadora de modo tal que una de las rendijas de la doble sean cubiertos por esta. Repitiendo el procedimiento ya explicado se toman los datos y se gráfica. El resultado se encuentra en la gráfica 3

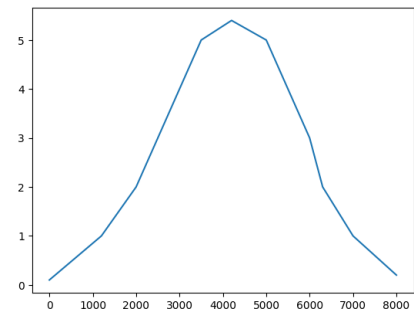


Figura 3. Gráfica de voltaje en función de la distancia para una rendija simple. Estos datos fueron obtenidos utilizando la rejilla bloqueadora y se graficaron con la librería Matplotlib

Es importante notar que la diferencia entre los máximos de voltaje es 4 veces aproximadamente siendo 5 el máximo voltaje para la rendija simple y 20 para la rendija doble.

Por otro lado, nos interesa medir la longitud de onda podemos utilizar la ecuación 4 y optimizando para luego conseguir su valor despejando de $\lambda = \frac{2\pi}{\omega}$. Para hacer esto se utilizo python optimizando los resultados con lo cual se obtuvo $\lambda = 2,88$ sin embargo es importante plantear que los resultados son sumamente inexactos por el metodo de adquisición de valores. De hecho, la incertidumbre de esta es $3,94177280 \times 1064$ cosa que resulta sumamente absurda.

Por ultimo, se nos pide hacer un ajuste y contestar las preguntas con respecto a este. Para lo cual necesitaremos la ecuación 4 la cual sera con la que se realizara el ajuste. Ahora bien, las tendencias encontradas son correctas y corresponden con lo esperado. Exceptuando que a la hora de tomar la teoria de Fraunhafer el ajuste esperado no coincide con la teoria pues su grafica teorica debe tener oscilaciones en el inicio y final.

IV. CONCLUSIONES

En este experimento se encontró un patrón de interferencia para una doble rendija, mas no se logró ver un patrón de interferencia completo para una única rendija. La teoría nos anticipa que para una única rendija se tendría que encontrar un pequeño patrón de interferencia producto de la difracción, mas este no se logró medir puesto que se obtuvo un único pico sin subsecuen-

tes picos de menor intensidad en ambas direcciones. Por otro lado, si se logró encontrar el patrón de interferencia esperado por la teoría de Fraunhofer para la rendija doble, siendo los picos acompañantes del máximo no mucho menores al máximo, a diferencia del de rendija única cuyos picos acompañantes si lo son. Por ser mucho más pequeños los picos acompañantes al máximo en el caso de la rendija única, es que creemos no se lograron medir durante la toma de datos, por una posible poca sensibilidad del instrumento del fotodiodo. Por otro lado se encontró que el mayor voltaje medido para una única rendija es cuatro veces menor que el mayor medido para dos, esto se corresponde a la teoría en tanto que en el caso de la intensidad es igual. Por otro lado, la longitud de onda del láser obtenida empíricamente fue de 2.88 nm, respecto a la teórica que es de 670nm. La lejanía de los resultados obtenidos para el láser hablan de una baja calidad de los datos con los que se trabajó debido a limitaciones humanas.

-
- [1] M. Jose and B. Nicolas. *Guia de Laboratorio Física Moderna*. Universidad de los Andes, 2021.
 - [2] W. Moebs. 4.2 intensidad en la difracción de una rendija - física universitaria volumen 3, Nov 2021.

APÉNDICE DE CÁLCULO DE ERRORES

Los calculos aqui realizados se hicieron con ayuda de python, scipy y matplotlib. Por lo tanto, los ajustes encontrados y la incertidumbre que se hallo fue

$$6,17327782 \times 10^{16}$$

$$3,38818843 \times 10^{34}$$

$$3,94177280 \times 10^{64}$$

Sin embargo, por limitaciones de conocimiento no se pudo realizar un ajuste mas preciso.