

Difracción de electrones*

Ann Author[†] and Sergio Iván Rey[‡]

Departamento de Física, Universidad de los Andes

(Dated: 13/8/2015)

En este laboratorio verificamos cualitativamente la dualidad onda-partícula del electrón y cuantificamos la difracción de un rayo de electrones pasando a través de un blanco de grafito. Con esta cuantificación pudimos calcular las distancias interplanares de los cristales de grafito. Obtuvimos los resultados $d1 = x \pm err$ y $d2 = y \pm err$, lo cual se acerca con gran exactitud a los valores reales, teniendo errores de únicamente $x1\%$ y $x2\%$. De la misma manera se pudo obtener un valor considerablemente acertado de la constante de Planck, $h = z \pm err$, lo cual solo está alejado del valor real un *planck%*. Los errores obtenidos se atribuyen principalmente a la precisión de los elementos usados para hacer las mediciones, además del ancho natural de los círculos de difracción.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de las consecuencias más imporatnes de la mecánica cuántica es la interpretación de los fenómenos físicos poco intuitivos con partículas, como parte de una dualidad onda-partícula. Ésta dualidad hace referencia al comportamiento de la materia como onda en ciertas circunstancias, y como partícula en otras. Un caso específico en el que se puede evidenciar esta dualidad es el electrón. Al lanzar un haz coherente de electrones contra un blanco con las características adecuadas, se puede apreciar un patrón de difracción ondulatorio que no se podría deducir al considerar el haz con propiedades de partículas.

Para cuantificar la difracción de electrones, es muy útil saber cuantificar la difracción en una onda común. Supóngase entonces que se hace incidir una onda de longitud de onda λ , a un ángulo θ sobre un cristal con distancia interplanar d como se muestra en la figura 1. Parte de la onda se reflejará en el primer plano, y parte de la onda se reflejará en el segundo plano. Si se asume la distancia interplanar lo suficientemente pequeña para omitir los efectos de refracción, la onda que pasa al segundo plano volverá a encontrarse con la que se refleja en el primero. Sin embargo, debido al camino de más que ha recorrido, habrá una diferencia de fase que será importante para determinar si estas ondas se anulan o se refuerzan.

De la figura 1 es claro ver que la diferencia de caminos es de $d \sin \theta$. Con esto, y sabiendo que la longitud de onda del rayo incidente es λ , se puede calcular la diferencia de fase entre las dos ondas. Esta diferencia está dada por la ecuación 1 a continuación.

$$\delta = \frac{2\pi d \sin \theta}{\lambda} \quad (1)$$

* A footnote to the article title

[†] Also at Departamento de Física, Universidad de los Andes

[‡] si.rey1826@uniandes.edu.co

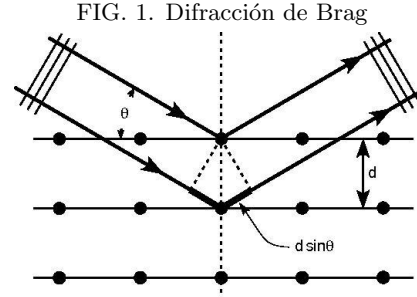


FIG. 1. Difracción de Bragg

Dado esto, si asumimos una onda sinusoidal normal, ambas ondas se anularán cuando su diferencia de fase sea $\delta = \pi$ y sea $\delta = 2\pi$. Claramente habrá interferencia constructiva y destructiva respectivamente para ángulos mayores si se agrega $2n\pi$ a cada desfase. Sin embargo, en este caso, para poder apreciar un buen patrón de difracción, consideramos que la longitud de onda de la onda incidente es del orden de magnitud de la distancia interplanar, por lo que se omitirán dichos casos. Además, si la onda se observa a una distancia L del blanco en dirección perpendicular al plano del blanco, y a una distancia R del blanco en dirección paralela a éste, asumiendo incidencia casi normal, es decir, $\theta \approx 0$, se tiene $\sin \theta \approx \frac{R}{L}$. Con todo esto, observaremos un patrón de interferencia constructiva que caracterizará el patrón de difracción cuando se cumpla la condición dada en la ecuación 2.

$$\frac{d \sin \theta}{\lambda} = \frac{dR}{L\lambda} = 1 \quad (2)$$

Ahora, sabiendo cuantificar la difracción para una onda normal, se puede caracterizar también la difracción de un haz de electrones. Para esto, solo es necesario tener en cuenta la relación de De Broglie para obtener la longitud de onda de un electrón libre con una energía E determinada. La longitud de onda será entonces de la forma:

$$\lambda = \frac{p}{h} = \frac{\sqrt{2mE}}{h} \quad (3)$$

Donde claramente h es la constante de Planck y m es la masa del electrón. Si asumimos además que cada electrón fue acelerado por un potencial eléctrico V , la ecuación ?? se reduce a:

$$\lambda = \frac{\sqrt{2meV}}{h} \quad (4)$$

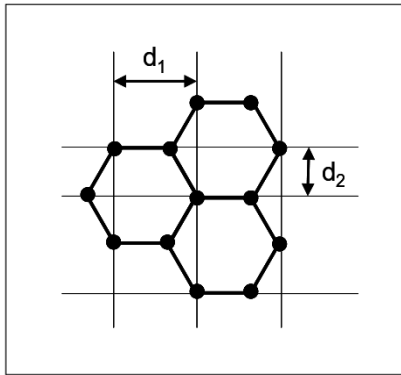
Ahora, la condición para el máximo en el patrón de difracción de electrones está dado por la unión de las ecuaciones 2 y ??. En este caso, quedamos con la ecuación final para cuantificar la difracción de electrones:

$$\frac{dR}{L} = \frac{\sqrt{2meV}}{h} \quad (5)$$

En este experimento tomaremos un blanco hecho de grafito el cual está compuesto de cristales pequeños irregularmente distribuidos. Estos cristales tienen celda unitaria hexagonal, por lo que habrán dos distancias interplanares importantes. Estas distancias, la cuales tienen valores teóricos dados por la ecuación ??, se pueden apreciar en la figura ??.

$$d_1 = 2.13\text{\AA}; d_2 = 1.23\text{\AA} \quad (6)$$

FIG. 2. Distancias interplanares en el grafito



Dado que se hará incidir un haz de electrones de simetría axial contra el blanco de grafito, el patrón de difracción tendrá esta misma simetría proyectada sobre un plano perpendicular al eje determinado por el rayo. En este sentido, el patrón de difracción estará dado por círculos, por lo cual es mejor escribir la ecuación ?? en términos del diámetro $D = 2R$ de dichos círculos:

$$\frac{dD}{2L} = \frac{\sqrt{2meV}}{h} \quad (7)$$

II. MONTAJE EXPERIMENTAL

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Circuito RC

B. Circuito RLC Forzado

Frecuencia (Hz)	V_{pp} (V)	V_{rms}
16.3	12.6	4.37
16.5	12.5	4.35
16.7	12.4	4.3
17.0	12	4.18
17.5	11.1	3.85
18.0	9.84	3.41
16.1	12.5	4.36
16.9	12.4	4.3
15.6	12	4.16
15.2	11.4	3.93
14.5	10	3.42
14.0	9.28	3.19
13.0	7.84	2.72
12.0	6.96	2.37
19.0	7.60	2.62
20.0	5.76	1.98

TABLE I. Datos de curva de resonancia RLC.

IV. CONCLUSIONES

[1] A.P. French, *vibraciones y ondas* Editorial Reverté s.a., 1971, and references.

[2] Universidad de los Andes, *Guía 1 Osciloscopio* 2015, and references.