

Interacción Luz y Materia

Isaac Martín Salazar (Estudiante)
Iván Villar Gutiérrez (Estudiante)
Jesús Juárez Santiago (Estudiante)

Juan Antonio Sanz García (Profesor responsable) *

IES Mariano Quintanilla
Plaza Díaz Sanz, 4 40001 Segovia

40003654@educa.jcyl.es

Resumen

En el desarrollo del presente proyecto se han investigado algunos fenómenos a los que da lugar la luz al interactuar con la materia, en concreto la reflexión, la refracción y la difracción. Se han deducido alguna de las leyes que los rigen a través de la experimentación y conocido aplicaciones prácticas de los mismos.

Se han medido los ángulos de incidencia y de reflexión de la luz en espejos obteniendo los resultados que predicen las leyes de la reflexión.

Se han realizado varios experimentos de refracción llegando a las mismas conclusiones que la ley de Snell, permitiéndonos medir el índice de refracción del vidrio ($n = 1,50$) y el del plexiglás ($n = 1,61$) y, por tanto, obtener la velocidad de la luz en estos medios, $v_{\text{vidrio}} = 2,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ $v_{\text{plexiglas}} = 1,86 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Se ha estudiado el fenómeno de la difracción y se ha aplicado para la medida de objetos de pequeño tamaño, como una rendija o un cabello, obteniéndose $541 \mu\text{m}$ y $48,6 \mu\text{m}$ respectivamente.

Se ha reproducido el experimento de difracción de electrones en cristales y la demostración de sus propiedades ondulatorias, que puso de manifiesto su naturaleza dual (partícula y onda) con el que G. P. Thomson obtuvo el premio Nobel de Física en 1937. Se ha aplicado este fenómeno a la medida de parámetros de la red cristalina de grafito, obteniéndose $d_1 = 1,11 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ y $d_2 = 1,94 \cdot 10^{-10} \text{ m}$, distancias entre planos casi coincidentes con los valores que aparecen en la bibliografía.

Palabras clave: *Luz y materia, reflexión, refracción, difracción, onda-partícula.*

Keywords: *Light and matter, reflection, refraction, diffraction, wave-particle.*

1. Introducción

La interacción entre luz y materia ha llamado la atención del hombre desde la antigüedad debido a la gran variedad de fenómenos naturales en los que se manifiesta como el arco iris, el color del cielo a mediodía o al atardecer, etc. Esta interacción,

además de dar lugar a fenómenos de gran belleza, nos aporta información sobre la naturaleza de la luz y la estructura de la materia.

Las primeras teorías sobre la naturaleza de la luz surgen en el siglo XVII enfrentado a los partidarios de la teoría corpuscular y la ondulatoria. La primera fue propuesta por Newton en 1704. Suponía que los focos luminosos emiten pequeñas partículas que se propagan a gran velocidad, en línea recta y en todas las direcciones. Esta teoría explicaba la reflexión y la refracción. La teoría ondulatoria de la luz fue propuesta por Huygens en 1690; sostenía que la luz tiene naturaleza ondulatoria, como el sonido. Para explicar la refracción había que admitir que la luz se mueve a distinta velocidad según el medio en el que se propague. Esta teoría fue rechazada en un principio por el mayor prestigio de Newton y porque no se había conseguido medir la velocidad de la luz en otros medios que no fuera el aire, ni se conocían los fenómenos de la interferencia y la difracción, exclusivos de las ondas. En 1875 Maxwell desarrolló la teoría electromagnética, según la cual, la luz está formada por ondas electromagnéticas, resultado de la propagación en el espacio de un campo eléctrico y otro magnético oscilantes mutuamente dependientes.

En 1926 Louis de Broglie resolvió el dilema acerca de la naturaleza de la luz afirmando que todas las partículas en movimiento llevan una onda asociada. Por tanto, la luz tiene doble naturaleza, corpuscular y ondulatoria. Dependiendo del fenómeno que se estudie, se mostrara como una partícula o como una onda.

En el presente trabajo se han estudiado los fenómenos de la reflexión, la refracción y la difracción y se han medido índices de refracción de algunos materiales, así como el tamaño de determinados cuerpos. También se ha recreado el experimento con el que G. P. Thomson obtuvo el premio Nobel de Física en 1937 por su trabajo relativo a la difracción de electrones en cristales y la demostración de sus propiedades ondulatorias. Aprovecharemos la corta longitud de onda de los electrones para medir distancias C-C en la red cristalográfica del grafito.

2. Hipótesis

Los fenómenos involucrados en la interacción luz materia pueden descubrirse a través de la experimentación y aplicarse a la medida de distancias muy pequeñas.

3. Objetivos

1. Acceder al conocimiento de algunos de los fenómenos a los que da lugar la luz al interactuar con la materia y de las leyes que los rigen.
2. Conocer aplicaciones prácticas de estos fenómenos.

4. Metodología

Se ha estudiado mediante dos montajes experimentales el cambio en la dirección de un rayo de luz al incidir sobre la superficie de separación entre dos medios sin llegar a propagarse al segundo, la reflexión.

Espejo sobre círculo graduado y láser de diodo (figura 1a). Un rayo de luz proveniente de un láser de diodo verde incide sobre un espejo plano colocado en un círculo graduado. Tomamos como origen de ángulos aquel en el que el rayo reflejado tiene la misma dirección que el incidente, para lo cual el espejo debe estar orientado perpendicularmente al haz del láser. Se varía el ángulo de incidencia asegurándonos de que el rayo incida sobre el centro del círculo graduado y leemos directamente los ángulos de incidencia y reflexión.

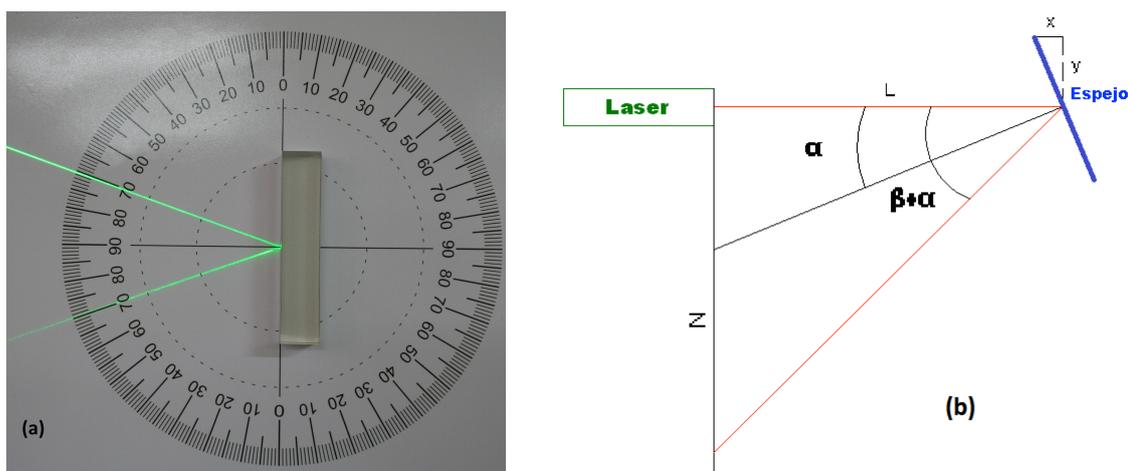


Figura 1: Reflexión en un espejo plano del haz del láser de diodo (a) y de He/Ne (b).

Láser de He/Ne sobre Banco Óptico: Colocamos en un banco óptico un láser de He/Ne frente a un espejo situado a 46,4 cm. de distancia. Se varía el ángulo de incidencia (α) girando el espejo y se mide el de reflexión (β) a partir de las razones trigonométricas de los parámetros x, y, z (figura 1b).

Se produce el fenómeno de la refracción cuando un rayo de luz llega a la superficie de separación entre dos medios y se propaga al segundo. Para el estudio de este fenómeno se han utilizado dos montajes similares a los del caso anterior:

- Láser de diodo verde y círculo graduado. Colocamos un vidrio con forma de semicircunferencia sobre el círculo graduado de modo que ambos centros coincidan. Hacemos incidir el haz del láser sobre el centro de la cara plana y se varía el ángulo de incidencia y el de refracción, que se leen directamente, como se puede apreciar en la figura 2a. No se produce refracción al salir por la parte curvada del vidrio porque el rayo se propaga en la dirección radial, por tanto, con ángulo de incidencia siempre igual a cero.
- Sobre el banco óptico descrito en el punto anterior se coloca un bloque de plexiglás. Medimos los ángulos de incidencia a partir del desplazamiento del prisma respecto del haz del láser. El ángulo de refracción se mide tomando como referencia los puntos en los que la luz incide y sale del prisma (figura 2b).

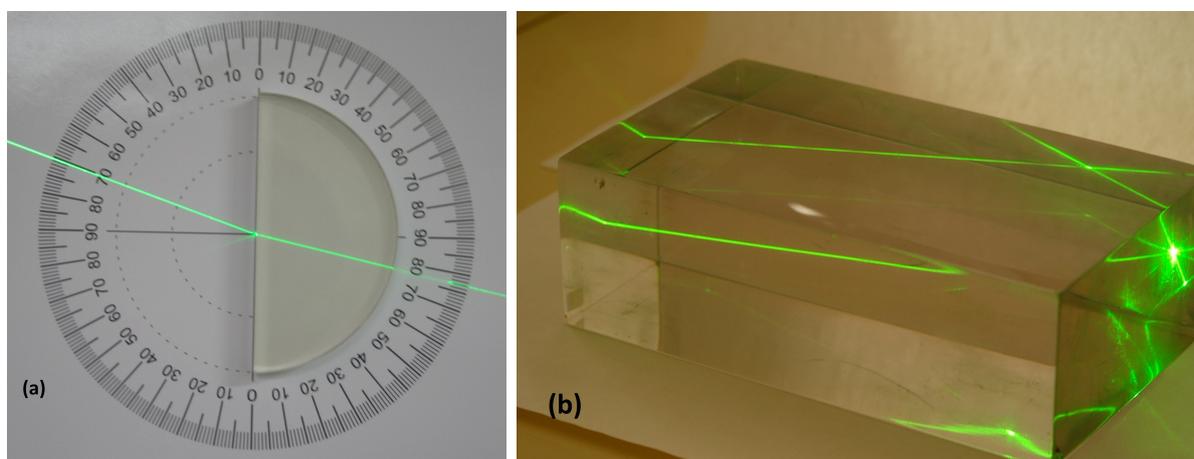


Figura 2: Refracción en un semicírculo de vidrio (a) y en un bloque de plexiglás (b).

La difracción se produce cuando una onda se encuentra con un obstáculo de tamaño comparable a su longitud de onda. Genera una sucesión de zonas luminosas y oscuras denominadas patrón de difracción. Analizando esta figura se puede conocer el tamaño del obstáculo. Es un fenómeno característico de las ondas, lo que permitió demostrar el carácter ondulatorio de los electrones al difractarse con una red cristalina de grafito.

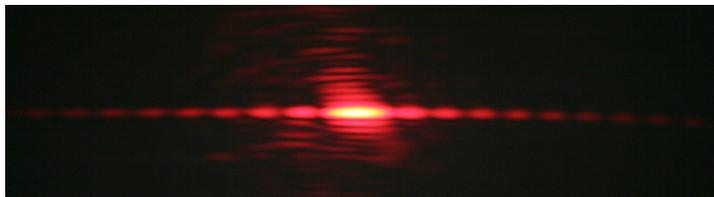


Figura 3: Figura de difracción obtenida con una rendija.

Para medir el ancho de una rendija y el diámetro de un cabello, se analiza el patrón de difracción, como el que se puede observar en la figura 3, obtenido al hacer incidir el haz de nuestro láser de He/Ne perpendicularmente sobre el plano del obstáculo. Obtenemos los ángulos (θ_n) a los que aparecen los mínimos de intensidad de luz midiendo la posición de estos puntos en una pantalla situada a 7,7 metros de la rendija y 3,34 m del cabello. Para minimizar el error se mide la distancia entre dos mínimos del mismo orden situados a ambos lados del máximo central y dividiendo el valor obtenido entre dos.

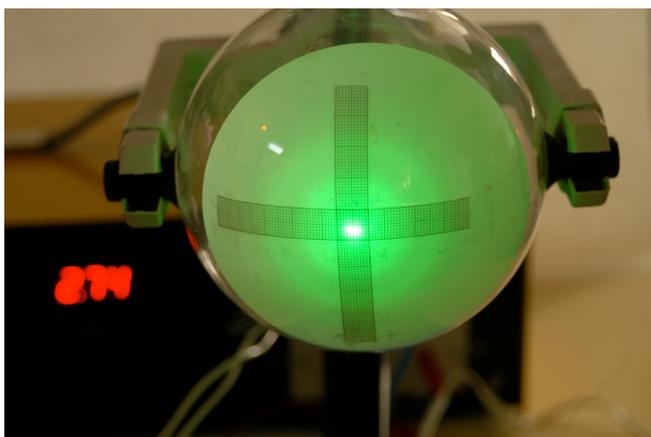


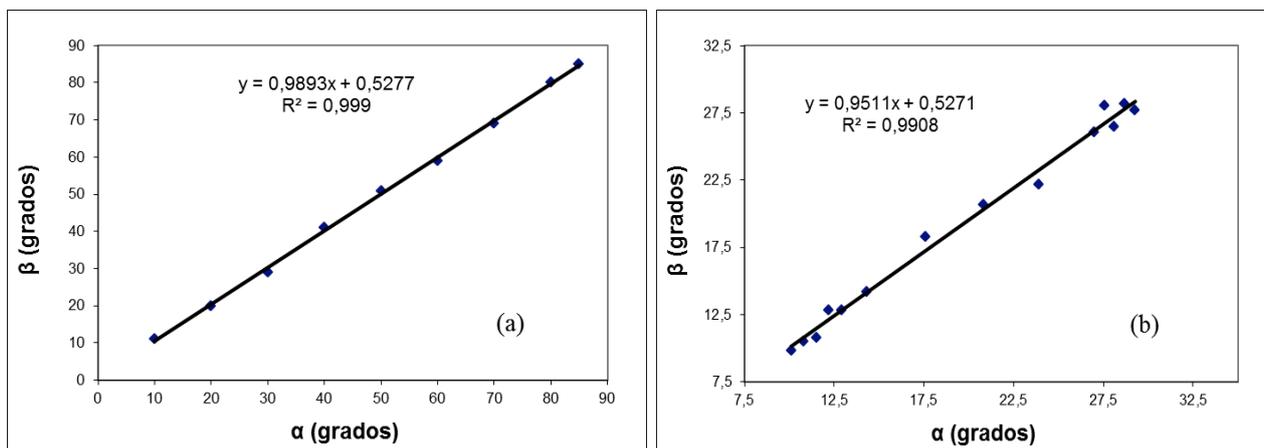
Figura 4: Diagrama de difracción de electrones producido por una red de grafito.

En el experimento de difracción de electrones, se utiliza un tubo de rayos catódicos convenientemente modificado. Este tubo permite hacer visible las interferencias de haces de electrones con un blanco de grafito policristalino que se encuentra en su interior. En el interior del tubo se ha realizado el vacío para evitar pérdida de energía de los electrones. La distancia entre la red de grafito y la pantalla fluorescente es 13.5 cm y el diámetro de la ampolla de vidrio es de 13 cm.

La imagen de difracción que aparece en la pantalla muestra dos anillos concéntricos con el punto correspondiente al haz sin difractar, como se puede apreciar en la figura 4. Estos anillos corresponden a la difracción de Bragg producida por los átomos de la red cristalina de grafito.

5. Resultados

Los resultados de la medida del ángulo de reflexión frente al de incidencia están recogidos en la gráfica 1. Como se puede apreciar, los puntos experimentales están muy bien alineados a lo largo de dos rectas de pendientes 0,9839 y 0,9511, poniendo de manifiesto la igualdad entre los ángulos de incidencia y de reflexión medidos respecto la dirección normal al espejo, lo que constituye una de las leyes de la reflexión.



Gráfica 1. Ángulo de incidencia frente al de refracción obtenidos en el círculo graduado con el láser de diodo verde (a) y en el banco óptico (b).

Los resultados de las medidas de los ángulos de incidencia (α) y refracción (θ_r) en el vidrio están representados en la gráfica 2a. Muestran una relación no lineal entre estas dos variables. Sin embargo, se ha encontrado una relación lineal si representamos el seno del ángulo de incidencia frente al de refracción, como se puede ver en la gráfica 3b. En este caso la pendiente de la recta es el cociente entre el índice de refracción del medio refractado y el incidente, como pone de manifiesto la ley de Snell,

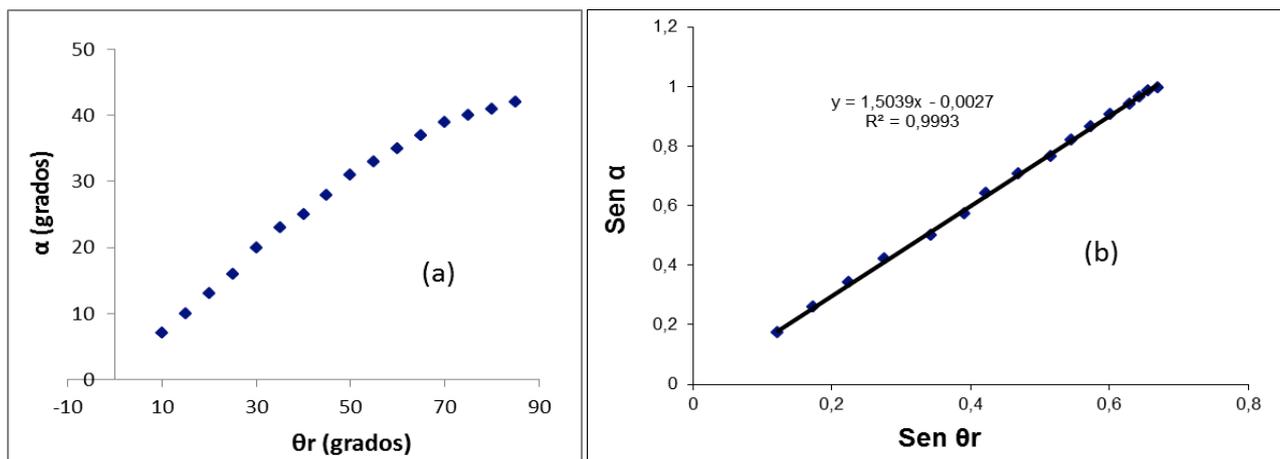
$$n_{\text{incidente}} \text{ sen } \alpha = n_{\text{refractado}} \text{ sen } \theta_r$$

donde n es el índice de refracción de los medios incidente y refractado. Es una propiedad característica.

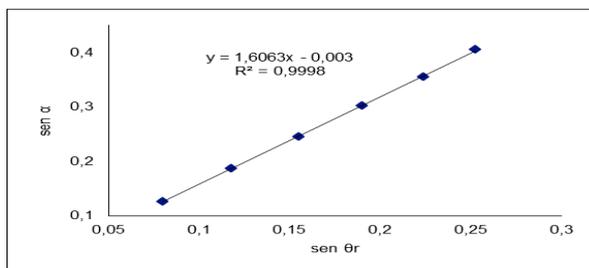
$$n = v_{\text{vacío}} / v_{\text{medio}}$$

Por tanto, como se puede ver en la gráfica 2b, $n_{\text{vidrio}} / n_{\text{aire}} = 1,50$. Teniendo en cuenta que podemos considerar que el índice de refracción del aire es igual a 1, nuestros resultados experimentales nos permiten obtener el índice de refracción del vidrio $n_{\text{vidrio}} = 1,50$. Tomamos tres cifras significativas para la expresión del índice de refracción por la incertidumbre de las medidas experimentales.

En la gráfica 3 se representan los puntos experimentales para la refracción en el plexiglás. Como se puede apreciar, la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es una recta de pendiente igual al índice de refracción del plexiglás ($n_{\text{plexiglás}} = 1,61$), dado que tomamos como índice de refracción del aire $n_{\text{aire}} = 1$.



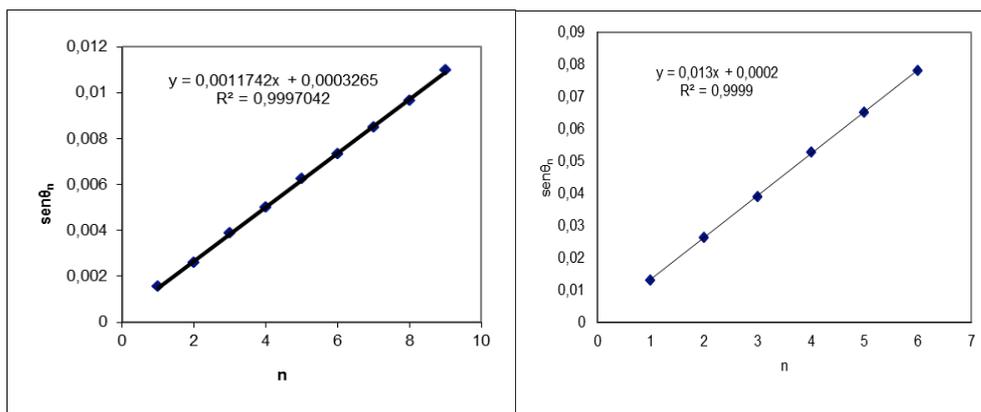
Gráfica 2. Ángulo de incidencia frente al de refracción (a) y seno del ángulo de incidencia frente al seno del ángulo de refracción (b) para el semicírculo de vidrio.



Gráfica 3. Seno del ángulo de incidencia frente al seno del ángulo de refracción para el plexiglás.

Conocido el índice de refracción del vidrio y del plexiglás, podemos conocer la velocidad de propagación de la luz en dichos medios ($v = c / n$)

$$v_{\text{vidrio}} = 2,00 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad v_{\text{plexiglás}} = 1,86 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$



Gráfica 4. $\text{sen } \theta_n$ frente a n obtenidos a partir del patrón de difracción por una rendija (a) y por un cabello (b)

En la gráfica 4 aparece representado el seno del ángulo al que aparece un mínimo de luz ($\text{sen } \theta_n$) frente al orden del mínimo (n) para la **difracción** por una rendija (a) y por un cabello (b). Los puntos experimentales se ajustan muy bien a sendas rectas de pendientes 0,00117 y 0,013. La relación entre $\text{sen } \theta_n$ y el orden del mínimo (n) viene dada por (W. E. Gettys y col.)

$$\text{sen}\theta_n = n \lambda / b$$

por tanto, la pendiente de esta recta será igual a λ / b , donde b es el tamaño del obstáculo y λ la longitud de onda del láser. Podemos obtener la anchura de la rendija y el diámetro del cabello (b) dividiendo la longitud λ por la pendiente. Se obtienen unos valores $541 \mu\text{m}$ y $48,6 \mu\text{m}$ para la anchura de la rendija y el diámetro del cabello respectivamente. Expresamos el resultado con 3 cifras significativas ya que es el número de cifras con el que conocemos λ .

El experimento de difracción de electrones, además de poner de manifiesto el carácter ondulatorio del electrón podemos utilizarlo para medir la distancia entre planos de la red de grafito. La relación entre los radios de los anillos de difracción (r) y la diferencia de potencial con la que aceleramos los electrones (v) es la siguiente (<http://fisicaexpdemostrativos.uniandes.edu.co>).

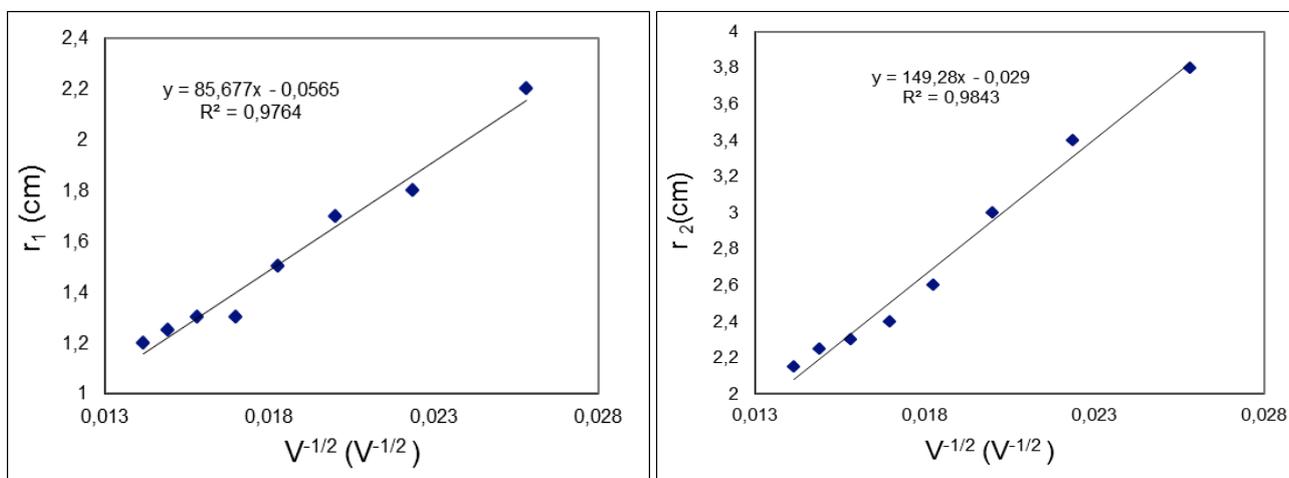
$$r = L \cdot h / d \cdot (2mqV)^{1/2}$$

donde $h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ es la constante de Planck, $m=9,1 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$ y $q=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ son la masa y la carga del electrón respectivamente, d la distancia entre planos, $L=0,135 \text{ m}$ la distancia entre la red de grafito y la pantalla.

Si hacemos una representación gráfica de r frente a la raíz cuadrada de V obtendremos una recta de pendiente $L \cdot h / d \cdot (2mq)^{1/2}$. Como se puede apreciar en la gráfica 5 se obtienen unos puntos que se pueden ajustar mediante dos rectas que nos van a permitir calcular los valores de las distancias entre planos de la red de grafito.

$$d_1 = L \cdot h / 0,857(2mq)^{1/2} = 1,94 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 194 \text{ pm}$$

$$d_2 = L \cdot h / 1,49(2mq)^{1/2} = 1,11 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 111 \text{ pm}$$



Gráfica 5. Radio de los anillos de difracción (r_1 y r_2) frente a la raíz cuadrada de la diferencia de potencial de aceleración de los electrones.

Estas dos distancias d_1 y d_2 se corresponden con dos distancias C-C en la red de grafito, como se puede ver en la figura 5 y casi coinciden con los valores dados en la bibliografía.

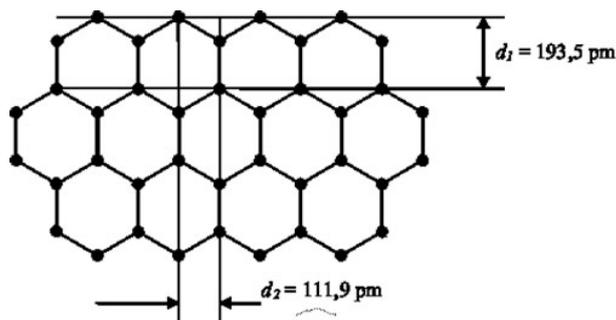


Figura 5. Distancias d_1 y d_2 en la red de grafito. Tomado de www.textoscientificos.com

6. Conclusiones

- Se han investigado algunos fenómenos a los que da lugar la luz al interactuar con la materia, deducido leyes que los rigen a través de la experimentación y conociendo aplicaciones prácticas de los mismos.
- Se han medido los ángulos de incidencia y de reflexión de la luz en espejos obteniendo los resultados que predicen las leyes de la reflexión.
- Se han realizado varios experimentos de refracción llegando a las mismas conclusiones que la ley de Snell, permitiéndonos medir el índice de refracción del vidrio y el del plexiglás y, por tanto, obtener la velocidad de la luz en estos medios.
- Se ha estudiado el fenómeno de la difracción y se ha utilizado para la medida de objetos de pequeño tamaño, como una rendija o un cabello.
- Se ha reproducido el experimento de difracción de electrones que puso de manifiesto la naturaleza dual de la materia (partículas y ondas). Nos ha servido para medir distancias tan pequeñas como las que hay entre planos de la red de grafito.