

Práctica 5:

Difracción de Bragg con microondas

Orozco González Luis René

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

Fecha de entrega:

21 de abril de 2021

Resumen

En la siguiente práctica se elabora un experimento de caracterización de la distancia interplanar de un cristal mediante *La ley de Bragg*, para esto se utiliza un arreglo rectangular de esferas metálicas en un cubo de unicel, al cual se le hacen incidir, en algunas de sus superficies(dados por sus planos interiores), las microondas 0° y 45° . Para hacer la caracterización de los planos que representan el cristal, se compara la curva de intensidad de microondas refractadas (en función del ángulo) con datos reportados de la bibliografía, se mide también experimentalmente la longitud de onda de las microondas, para, de este modo obtener la distancia de separación entre las esferas experimentalmente. Los planos analizados en términos de los índices de los planos racionales son el (100) y (110). La longitud de onda obtenida experimentalmente, para el generador de microondas, fue de $\lambda = (2.84 \pm 0.19)cm$, mientras que las distancias interplanar que se calcularon están muy proximas de su valor real.

1. INTRODUCCIÓN

Derivada por Henry y Lawrence Bragg (padre e hijo respectivamente) en 1913, la ley de Bragg confirma la existencia de partículas reales en la escala atómica, en el experimento original, ellos usan rayos-x para la caracterización.^[1]

Cuando las ondas alcanzan un átomo, estas interactúan con los electrones, reemitiendo la radiación electromagnética en distintas direcciones (*Dependientes del ángulo de incidencia*), con muy ligeras variaciones en la frecuencia ν . A este fenómeno se le conoce como dispersión de Rayleigh.^[2]

Cuando la radiación electromagnética de cada partícula es reemitida esta interfiere entre sí, constructiva o destrutivamente, provocando interferencia.

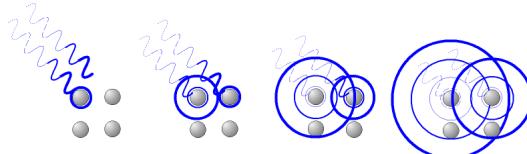


Figura 1: La radiación incidente llega a átomos consecutivos con un ligero desfase (izquierda). La radiación dispersada por los átomos (círculos azules) interfiere con radiación dispersada por átomos adyacentes. Las direcciones en las que los círculos se superponen son direcciones de interferencia constructiva. ^[3]

1.1. Cristales

Los Bragg comprobaron lo anterior porque estudiaron el problema de la difracción de rayos X que se da en un material cristalino, lo trataron como un problema de reflexión por sus planos atómicos. Esto porque la estructura atómica misma de un cristal es periódica, esto significa que los átomos que se encuentran dentro del mismo cristal van a estar ordenados de una manera repetitiva.

Existe una mínima unidad que permite replicar la red cristalina esta es llamada **celda unitaria**, recibe este nombre por que es la unidad estructural más simple de un apilamiento cristalino.

Para poder especificar las direcciones y los planos cristalográficos, se utilizan **Los índices de planos racionales** que vienen dados por la notación de los índices de Miller (hkl). Estos son tres números enteros que pueden ser positivos o negativos, el numero de índices va hacer igual al número de dimensiones en la red por lo tanto cada índice esta asociado a una dirección normal en el espacio cartesiano de coordenadas.

Cuando se habla de una dirección en un cristal se debe tener en cuenta que esto es un vector que une dos puntos en una red cristalina y que su notación es la siguiente:

$$[hkl] \quad (1)$$

Además cuando se habla de la familia de direcciones su notación es:

$$\langle hkl \rangle \quad (2)$$

Para un plano y familias de planos son las siguientes:

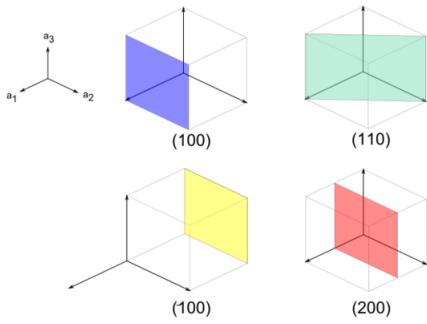


Figura 2: Índices de planos racionales, con la notación de Miller. [4]

notaciones respectivamente:

$$(hkl) \quad (3)$$

$$\{hkl\} \quad (4)$$

1.2. Condición de Interferencia Constructiva

La diferencia de fase entre la radiación emitida por diferentes átomos debe ser proporcional a 2π para que se observen fenómenos de interferencia constructiva lo que nos lleva a la ley de Bragg.

$$2d_{hkl} \sin \theta_{hkl} = n\lambda \quad (5)$$

Donde:

- $n = 1, 2, 3, \dots$
- λ Es la longitud de onda.
- d Es la distancia entre planos definidos por los puntos de red (*distancia interplanar*).
- θ Es el ángulo entre los rayos incidentes y los de dispersión.

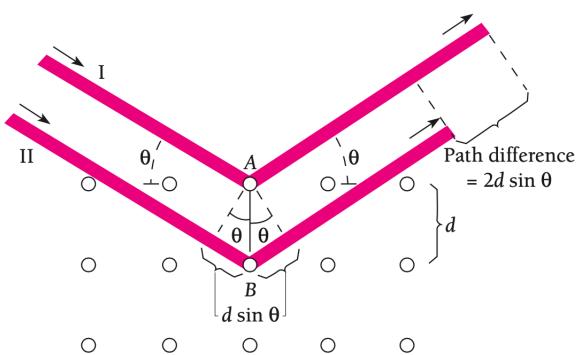


Figura 3: Diagrama de rayos usado para la deducción de la ley de Brag mediante la diferencia de camino óptico. [5], Tomado del: Beiser

Cuando analizamos un cristal a una orientación específica con radiación monocromática, se obtiene un espectro de reflexiones como función del ángulo θ . Si se usa el valor de θ , correspondiente al pico de reflexión mas fuerte, en la relación de Bragg, ecuación (5), se puede calcular la distancia interplanar d_{hkl} de la familia de planos que contribuyen al pico máximo.

En el caso de los cristales naturales o artificiales la distancia interplanar es del orden de Å, y dado que $\sin \theta < 1$, resulta que la reflexión puede ser observada solamente si λ es del orden de $\times 10^{-8}$ cm o menos. Esta es la razón por la cual se usan rayos-x en el estudio de dichos cristales.

En el experimento que se llevo acabo para esta práctica se utilizo un modelo mecánico de un cristal, donde la distancia interplanar era del orden de centímetros. Se pretende obtener la la longitud de onda de la radiación utilizada (microondas) que sabemos que tiene una longitud aproximadamente de 3 cm y determinar las distintas distancias interplanares para dos distintos planos.

2. MÉTODO EXPERIMENTAL

2.1. *Materiales*

Para este experimento se utilizo un riel óptico, dos carritos ópticos, un generador, receptor de microondas y un pequeño nivel con burbuja de aire, todo lo anterior fue empleado para determinar la longitud de onda. La mesa circular graduada, la estructura cubica de unicel con esferas de metal, el kit magnetix, un multímetro (Steren) y un gaussímetro se utilizo para obtener las distancia interplanares.

2.2. Determinación de la longitud de onda del generador de microondas

Para tomar las primeras mediciones el generador y receptor de microondas deben de estar bien alineados de manera vertical, además de estar a la misma altura para cumplir esto se hizo uso de un riel óptico además de un nivel con burbuja de aire (véase figura 4).

Para determinar la longitud de onda que teníamos en el generador de microondas, se realizo un sencillo experimento en el que se observaron los mínimos de intensidad detectados por el receptor de microondas, midiendo las distancias entre ellos. Es decir, se determino uno de los valles en la intensidad y se midió la distancia al siguiente de ellos.

Para esto se coloco el generador de microondas justo en un mínimo (aquella distancia donde justo antes y después se registraba un valle en la intensidad), midiendo las distancias entre cada nuevo mínimo al ir alejando el detector empezando con una separación de 70 cm (véase figura 5).

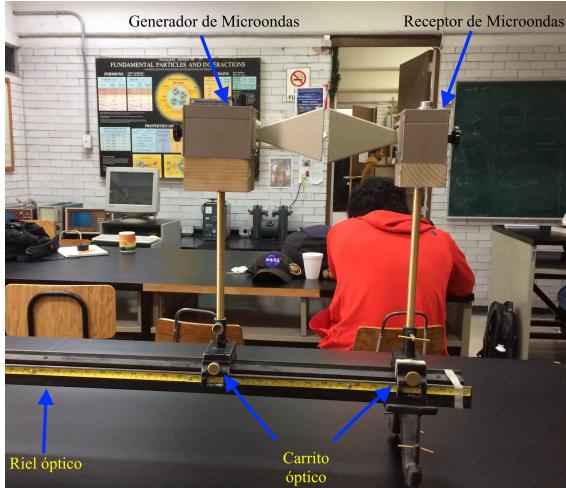


Figura 4: Arreglo y alineamiento del generador y receptor de microondas.

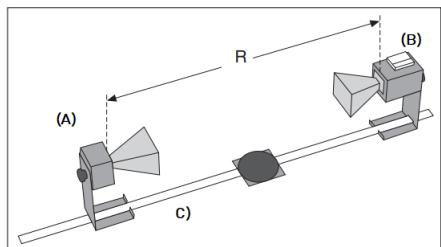


Figura 5: Arreglo para la medición de los mínimos en la onda. Siendo (A) el generador de microondas, (B) el receptor de microondas y $R = 70$ cm. Foto tomada del manual: [6]

2.3. Midiendo el perfil de intensidad para planos paralelos

La mesa giratoria graduada consta de una base central con capacidad de girar los 360° , mientras que los brazos tienen un límite mecánico que solo permite realizar mediciones de 0° a 70°

Se coloco un cubo de 4×4 átomos, con el plano exterior a 0° de la fuente emisora, es decir, paralelo a ella (véase figura 6). Dada la configuración se obtuvieron las intensidades para cada grado. Obteniendo datos para los planos con índices (100) y su subsecuente paralelo inmediato, trasladando el cubo una distancia d (la separación entre átomos).

Terminando con esas mediciones se coloca el mismo cubo pero ahora a 45° por lo que la onda incidirá con ese ángulo. Se realiza una sola toma de datos.

Terminando con el cubo de unicel y de manera análoga se toman los datos para dos distintas figuras magnéticas; un cubo y un prisma pentagonal (vease figura 7).

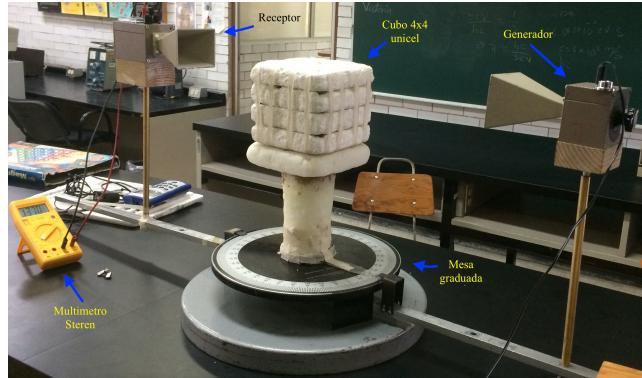


Figura 6: Montaje y alineación para la toma de datos del plano (100). Se utilizó un multímetro STEREN ya que ofrecía mayor resolución a la hora de la toma de datos

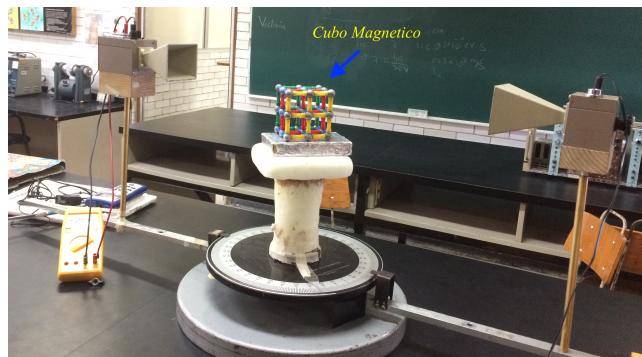


Figura 7: Montaje y alineación para la toma de datos del plano (110), cubo Magnetix.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Determinación de la longitud de onda del generador de microondas

Se realizaron veintiún mediciones para determinar en base a un promedio y una desviación estándar, la longitud de onda del generador midiendo la longitud de valle a valle (véase la figura 8)

Obteniendo una longitud de onda de:

$$\lambda_{exp} = (2.84 \pm 0.19) \text{ cm} \quad (6)$$

Para el caso del cubo de unicel se realizaron dos tomas de datos con el mismo numero de datos (71 datos), en el plano (100). A continuación se presentan las gráficas correspondientes

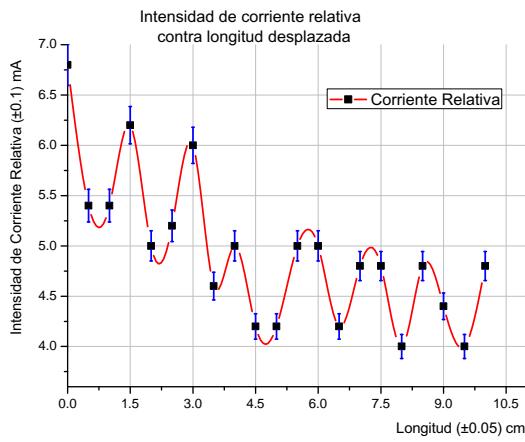


Figura 8: I.C.R contra longitud desplazada, presenta un comportamiento que decae con $1/R^2$.

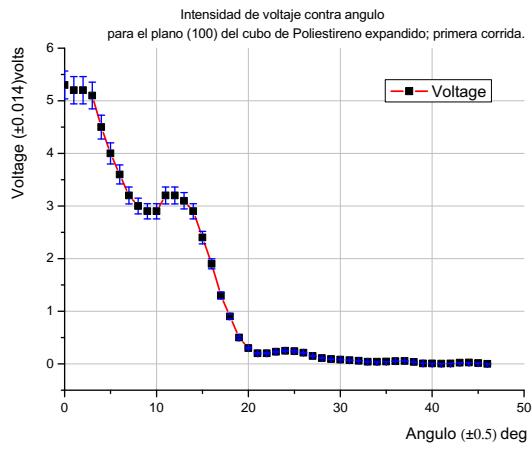


Figura 9: Voltaje contra ángulo para el plano (100), *primera toma de datos. Cubo de Unicel*

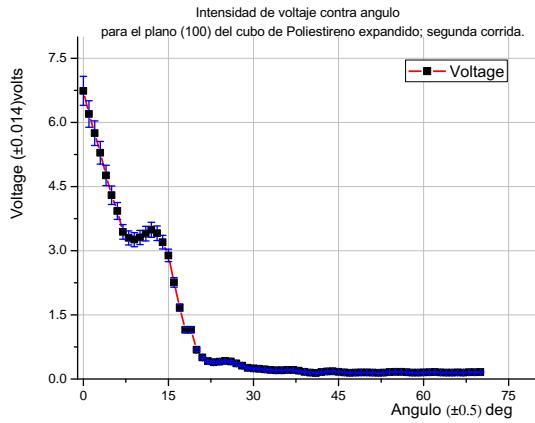


Figura 10: Voltaje contra ángulo para el plano (100), *segunda toma de datos. Cubo de Unicel*

Para el caso del plano (110), en el cubo de unicel la gráfica que se obtuvo con los datos recabado es la siguiente:

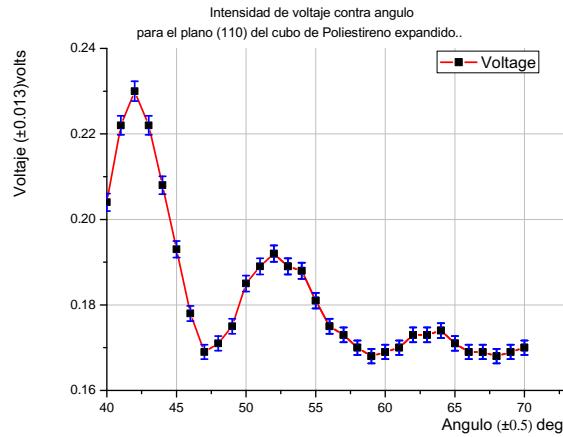


Figura 11: Voltaje contra ángulo para el plano (110), *Unica toma de datos. Cubo de Unicel*

Para el caso del cubo Magnetix, se obtuvo la siguiente gráfica:

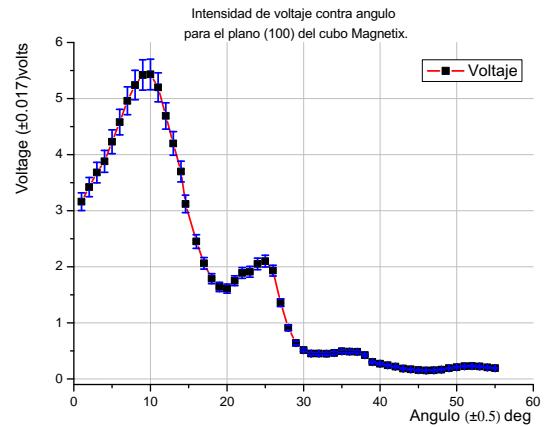


Figura 12: Voltaje contra ángulo para el plano (100), *Cubo de Magnetix*

Como se puede llegar a observar la figura 12 empieza desde el ángulo 0° esto es más que nada por que discrimine algunos datos para poder ver el comportamiento entre máximos.

Ya teniendo la gráfica y haciendo uso de la longitud de onda que calculamos 6 y la ecuación 5 determinar las distancias interplanares de cada uno de los arreglos con los que trabajamos. A continuación se presenta una tabla donde hemos agregado los resultados calculados:

4. CONCLUSIONES

La difracción de Bragg con microondas presenta una forma pedagógica de entender la física detrás de la Ley

	Unicel (100)	Unicel (110)	Magnetix (100)	Magnetix (110)	Prisma Magentix (0001)
Distancia Calculada	3.32 +/- 0.23 cm	2.29 +/- 0.36 cm	4.83 +/- 0.36 cm	6.075 +/- 0.14 cm	3.74 +/- 0.59
Distancia Medida	3.07 +/- 0.005 cm	2.07 +/- 0.005 cm	4.3 +/- 0.05	6.1 +/- 0.05	3.07 +/- 0.005
	8.14%	10.60%	12.30%	0.50%	21.80%

Tabla 1: Distancias interplanares de las estructuras usadas: cubo de inicel (100),(110), Cubo Magnetix(100),(110), Prisma Pentagonal

de Bragg. Requiriendo relativamente poco material para realizar la practica y realizar y hacer un análisis adecuado se obtienen valores muy cercanos a las distancias entre átomos (las esferas metálicas embebidas en el unicel).

Se determino la longitud de onda de la radiación de microondas usada con un error del treinta y cinco por ciento, algo medianamente aceptable además que gracias a eso se pudo obtener distancias interplanares cercanas a las reales. Lo que no tuvo resultados fue entender realmente la influencia del campo magnético y su relación con la disminución de la anchura de la onda.

REFERENCIAS

- [1] William Henry Bragg and William Lawrence Bragg. The reflection of x-rays by crystals. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 88(605):428–438, 1913.
- [2] John W Strutt. Xv. on the light from the sky, its polarization and colour. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(271):107–120, 1871.
- [3] Dec 2004. URL https://www.wikiwand.com/es/Ley_de_Bragg.
- [4] Oct 2011. URL https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4d/Indices_de_miller_de_planos_comuns_na_base_cubica.png.
- [5] A. Beiser and A.N. Jaimes. *Conceptos de física moderna*. McGraw Hill, 1981. ISBN 9789684512351. URL <https://books.google.com.mx/books?id=WiOWAAAACAAJ>.
- [6] Dave Griffith. *Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO Scientific Model WA-9314B*. PASCO Scientific, PASCO scientific 10101 Foothills Blvd. Roseville, CA 95747-7100, 1991.