

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS  
DIFRACCIÓN DE BRAGG CON MICROONDAS

CARRERA PADILLA CARLOS R. OROZCO GONZÁLEZ L. RENÉ

21 de abril de 2021



## 1 Resumen

## 2 Teoría

- Objetivos.

## 3 Montaje Experimental

## 4 Resultados

## 5 Conclusiones

## 6 Referencias



## Resumen

En este trabajo se elabora un experimento para calcular la distancia interatómica de un cristal artificial mediante la Ley de Bragg. Para el modelo de cristal se utilizó un arreglo de esferas metálicas en un cubo de unicel ( $4 \times 4 \times 4$ ), con configuración rectangular, un cubo de bolas metálicas con aristas magnéticas ( $3 \times 3 \times 3$ ) y un prisma pentagonal. Se empleo una longitud de onda, de  $\lambda = 2,84 \pm 0,19$  cm, en el orden de microondas; esta fue determinada experimentalmente.

Los planos estudiados, para ambos cubos, son el (1,0,0) y el (1,1,0); los cuales corresponden a configuraciones del cristal a 0 y 45 con respecto del generador de microondas, y en el caso del prisma sólo el (100). Para obtener la distancia entre planos se observa la curva de intensidad de las microondas dispersadas en función del ángulo, asociando los diferentes ordenes de interferencia (Ley de Bragg).



# Introducción

En 1915 Willian Henry Bragg y Willian Lawrence Bragg, padre e hijo respectivamente, recibieron el premio Nobel en Física por sus contribuciones en el desarrollo de la cristalográfia de rayos X. Padre e hijo dedujeron la conocida ley de Bragg que relaciona el ángulo de difracción de los rayos X con la longitud de onda y la distancia entre planos atómicos de un cristal.



Figura: Fotografía de W. Lawrence (izq.) y W. Henry (der.) Bragg. [[2]]

# Cristales.

- 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 ( $hkl$ ).



# Cristales.

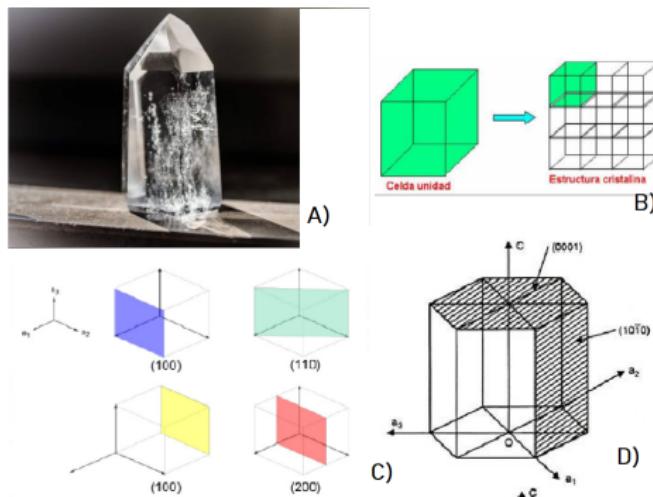
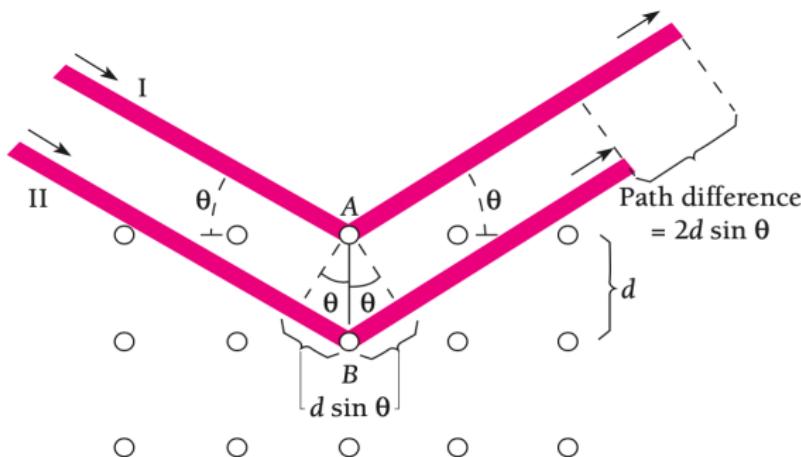


Figura: Diagrama Cristal [2], red cristalina y celda unitaria [5], índices de miller [1], indices de Miller Prisma.[7]



# Condición de Interferencia



**Figura:** Diagrama de rayos usado para la deducción de la ley de Bragg mediante la diferencia de camino óptico.[6]



# Ley de Bragg

La diferencia de fase entre la radiación emitida por diferentes átomos debe ser proporcional a  $2\pi$  para que se observen fenómenos de interferencia constructiva lo que nos lleva a la ley de Bragg. [4]

$$2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda \quad (1)$$

Donde:

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

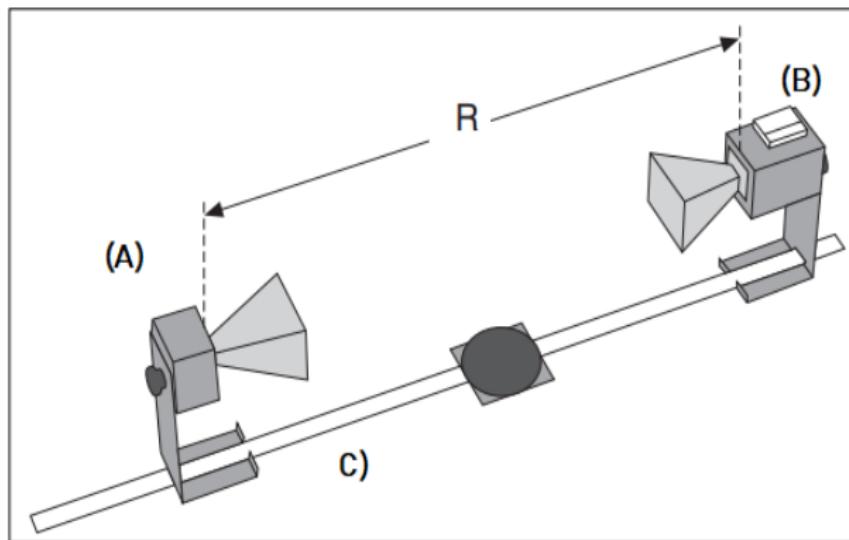


En este trabajo se buscó analizar la difracción de Bragg para microondas empleando un cristales artificial con distancia entre planos del orden de centímetros. Los objetivos son:

- Calcular la longitud de onda de la radicación usada.
- Determinar la distancia de separación entre planos para un modelo de cristal (poliestireno expandido con bolitas metálicas). con estructura cubica simple. Planos (100) y (110).
- Determinar la distancia de separación entre planos para un modelo con campo magnético (bolitas metálicas con aristas magnéticas (Magnetix)), con estructura cubica simple. Planos (100) y (110).
- Determinar la distancia de separación entre planos para un modelo con campo magnético (bolitas metálicas con aristas magnéticas (Magnetix)), con estructura prismática pentagonal. Plano (0001).



# Arreglo Experimental para Determinar Longitud de Onda.



**Figura:** Diagrama de arreglo para medición de longitud de Onda. A) Emisor de Microondas PASCO. B) Receptor de Microondas. C) Riel óptico con carritos.[3]



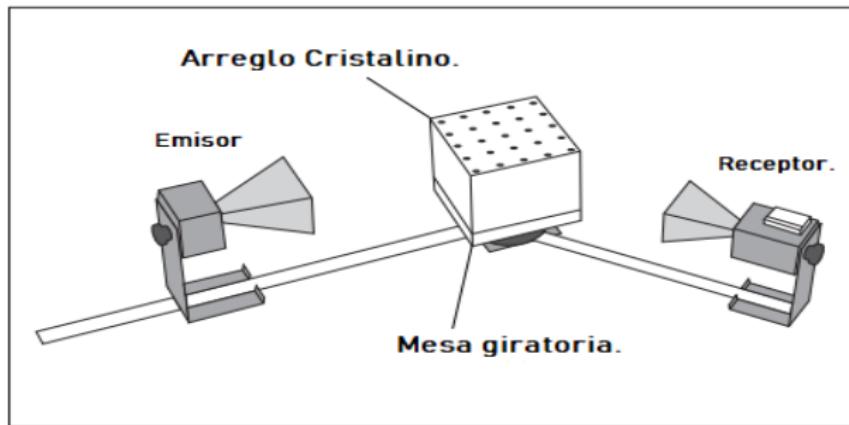
# Arreglo Experimental para Determinar Longitud de Onda.



Figura: Fotografía de alineación de arreglo experimental.



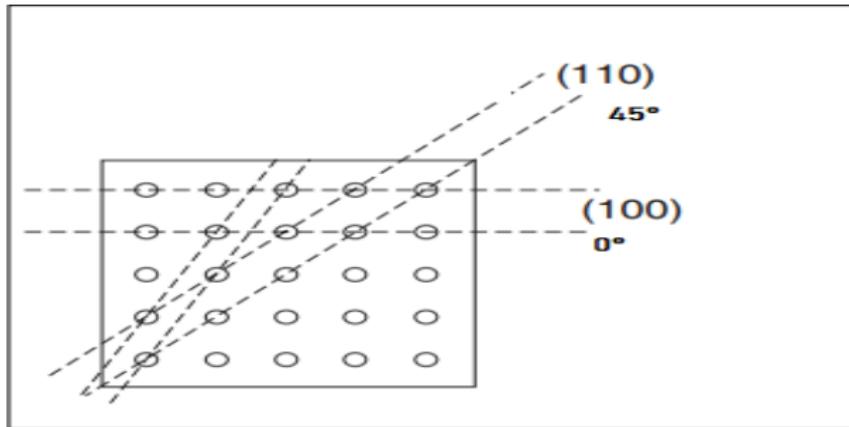
# Arreglo Experimental para determinar Distancia interplanar



**Figura:** Diagrama de arreglo para medición de intensidad contra ángulo para cálculo de distancia entre planos.[3]



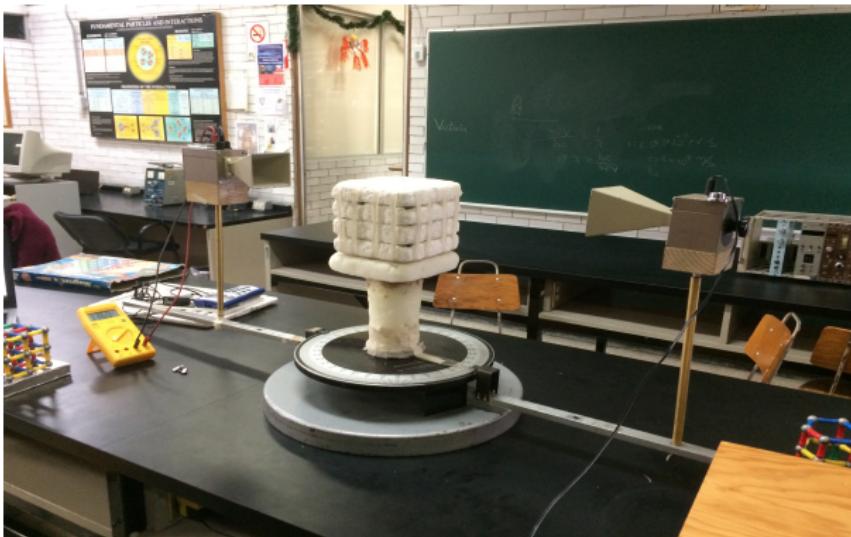
# Arreglo Experimental para determinar Distancia interplanar



**Figura:** Diagrama de arreglo para medición de intensidad contra ángulo para cálculo de distancia entre planos.[3]



# Arreglo experimental



**Figura:** Montaje experimental

para la estructura cubica de poliestireno expandido con esferas de metal como puntos de red.

# Arreglo experimental: Magnetix



Figura: Estructura cúbica magnética.



# Arreglo pentagonal

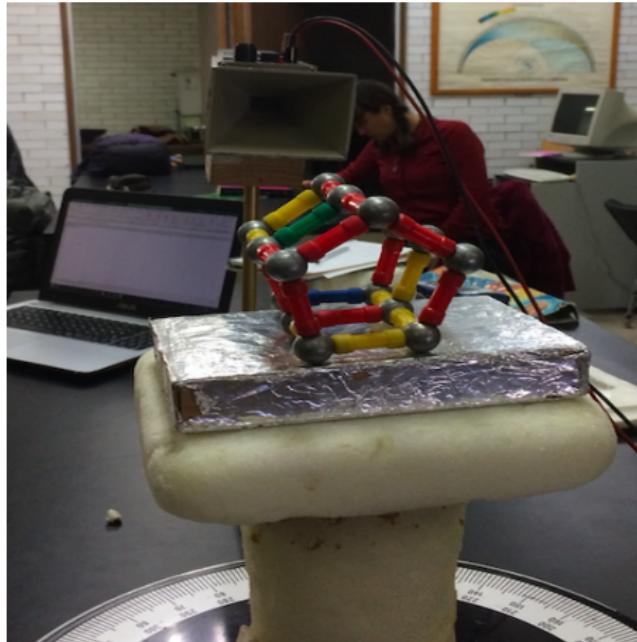
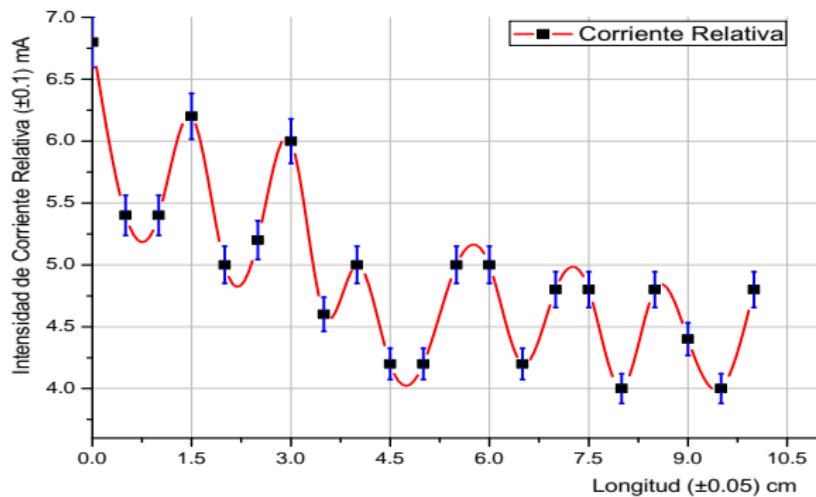


Figura: Estructura cúbica magnética.

# Resultados



**Figura:** Intensidad relativa contra longitud desplazada, para determinar la longitud de onda.



# Resultados

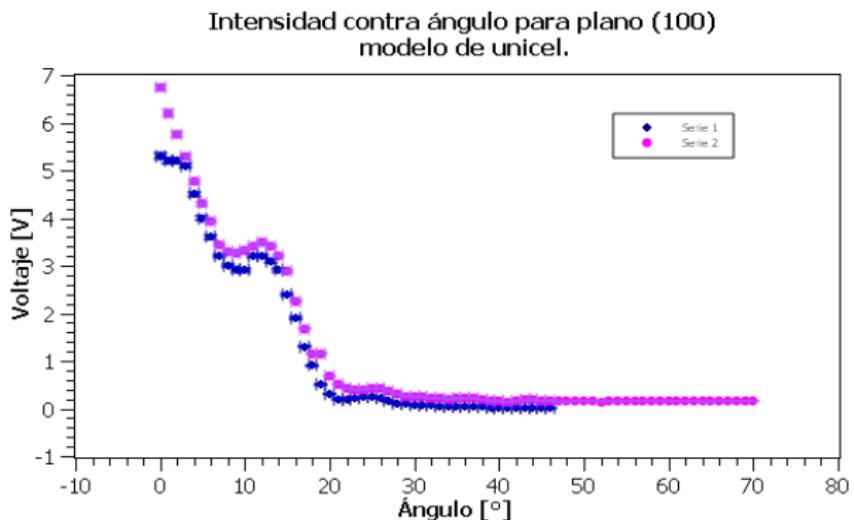
Se calculó y promedio la distancia entre máximos y mínimos consecutivos. Dicha distancia se relaciona con la longitud de onda [3].

$$\lambda_{exp} = 2,84 \pm 0,19 \text{ cm}$$

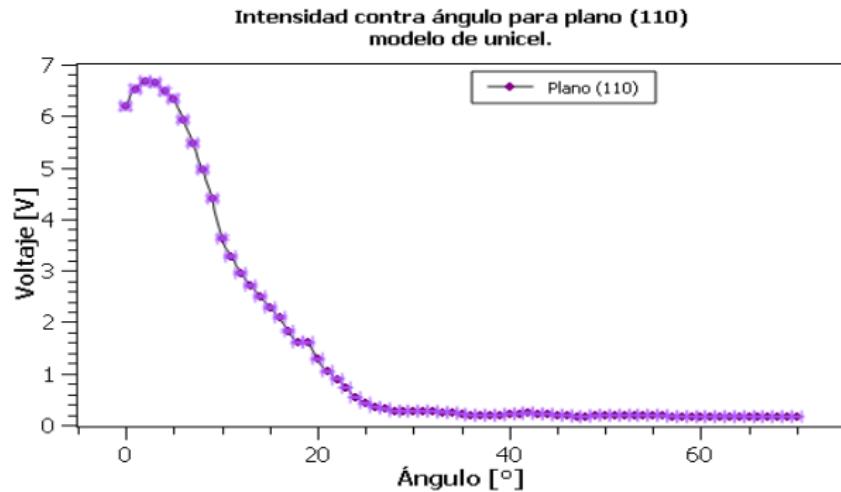
Esta distancia, efectivamente, se encuentra en el rango de microondas (1 m a 10 mm). La longitud de onda dada por el fabricante (2.85 cm)[3] , por lo tanto se tiene un error  $\approx 0,35\%$ .



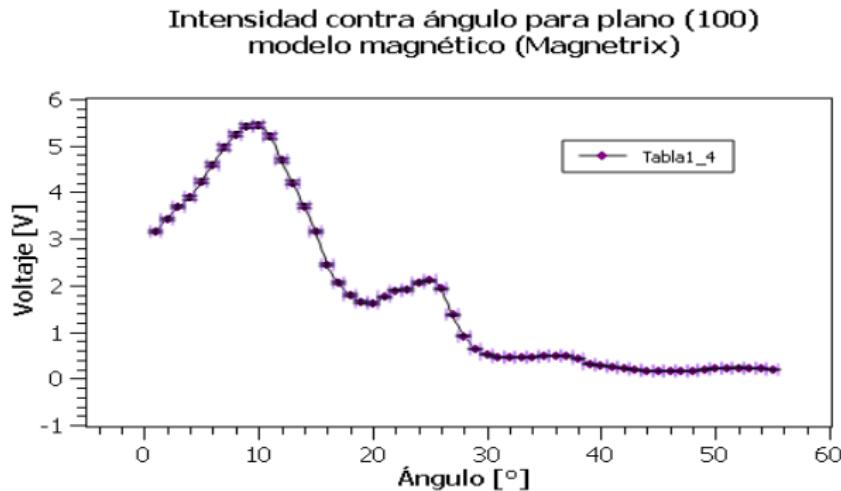
# Resultados Cubo poliestireno expandido con bolitas metálicas. Planos (100)



# Resultados Cubo poliestireno expandido con bolitas metálicas. Planos (110)

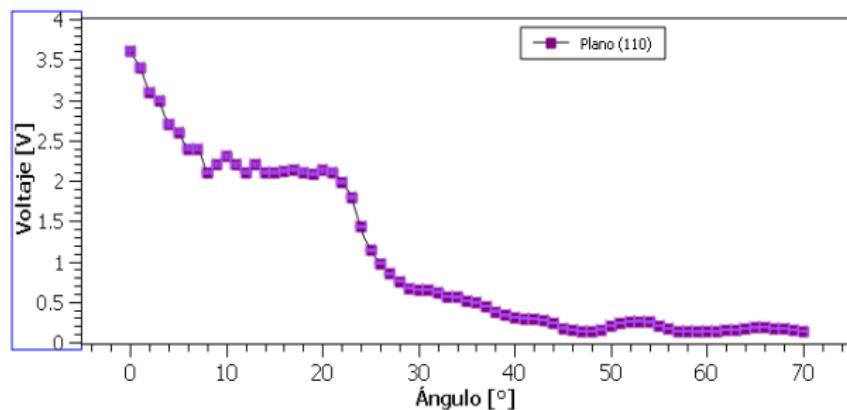


# Resultados Cubo Metálico con Aristas magnéticas (Magnetix). Planos (100)



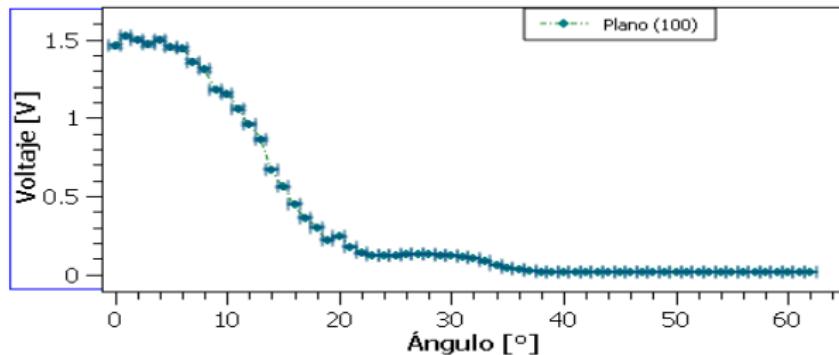
# Resultados Cubo Metálico con Aristas magnéticas (Magnetix). Planos (110)

Intensidad contra ángulo para plano (110)  
modelo Magnético (Magnetrix).



# Resultados Prisma Pentagonal Metálico con Aristas magnéticas (Magnetix). Planos (0001)

Intensidad contra ángulo para plano (100)  
modelo magnético (Magnetix)  
Prisma de caras pentagonales.



# Resultados Distancia interplanar.

|                     | Distancia Interplanar [cm] |                  |                |
|---------------------|----------------------------|------------------|----------------|
| Modelo              | Resultado                  | Esperada         | Error Relativo |
| Cubo Unicel (100)   | 3.32 +- 0.23               | 3.07<br>+- 0.005 | 8.14 %         |
| Cubo Unicel (110)   | 2.29 +- 0.36               | 2.07 +- 0.005    | 10.60 %        |
| Cubo Magnetix (100) | 4.83 +- 0.36               | 4.3 +- 0.05      | 12.30 %        |
| Cubo Magnetix (110) | 6.075 +- 0.14              | 6.1 +- 0.05      | 0.50 %         |
| Prisma (0001)       | 3.74 +- 0.59               | 3.07 +- 0.005    | 21.80 %        |

**Cuadro:** Distancia interplanar obtenida a partir de ángulos para ordenes de interferencia en Ley de Bragg. Se compara valor esperado (medido con regla) contra valor calculado con Ley de Bragg.



# Conclusiones

La difracción de Bragg con microondas luce como una sencilla pero poderosa forma de introducirse en el estudio de cristalográfia y estructura de la materia. La Ley de Bragg es una herramienta lo suficiente poderosa para el cálculo de distancias interplanares de arreglos cristalinos incluso aplicable a arreglo macroscópicos, como fue el caso de este trabajo. Se estimó la longitud de onda de utilizada para hacer incidir sobre modelos macroscópicos, provista por el instrumento generador PASCO WA -9314B.  $\lambda_{exp} = 2,84 \pm 0,19 \text{ cm}$  con un error con respecto de la literatura de se tiene un error  $\approx 0,35\%$ .

Se calculó la distancia interplanar para cinco configuraciones distintas de arreglos cristalinos, de las cuales el error más alejado fue de 21.80 %. Por lo tanto, se obtuvieron valores muy cercanos a los esperados.

No se logró determinar la influencia que ejerce el campo magnético sobre la señal de microondas, más que una hipotética rotación en el ángulo de polarización. Se propone la repetición del experimento con más tiempo para el estudio de las afectaciones por campo magnético.



# Referencias

-  Dec 2004.
-  Bragg padre e hijo: Dos vidas dedicadas a los rayos x, Jan 2014.
-  GRIFFITH, D.  
*Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO Scientific Model WA-9314B.*  
PASCO Scientific, PASCO scientific 10101 Foothills Blvd. Roseville, CA 95747-7100, 1991.
-  HECHT, E.  
Hecht optics.  
*Addison Wesley 997* (1998), 213–214.
-  MEYERS, H., AND MYERS, H.  
*Introductory solid state physics.*  
CRC press, 1997.

