

PreInforme: Difraccion del Electron

Angélica López^{*} and Sergio Montoya^{**}
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
(Dated: 29 de agosto de 2025)

En este se describen brevemente los objetivos y los resultados del trabajo, por lo tanto se debe dar información completa pero corta del contenido del trabajo. Se debe indicar qué fue lo que se hizo, cómo se hizo y cuáles fueron los resultados obtenidos de forma EXPLÍCITA. Por ejemplo: se obtuvo un valor para la constante de Planck de $h = (5,9 \pm 0,5) \times 10^{-34} \text{ J s}^a$. A lo largo de todo el informe por favor utilizar el diccionario de overleaf. Tener ideas claras y concisas de lo que se hizo y de los resultados obtenidos. Que genere interés en leer el resto del artículo. El informe, que está en formato de artículo científico debe ser auto-contenido. Un lector que no haya ido al laboratorio, o que no sepa del experimento debe ser capaz de leerlo y entender todo lo que allí de plantea.

I. MARCO TEORICO

Dada la ya conocida dualidad onda partícula, en donde se relaciona la energía (Una propiedad asociada a las partículas) y la frecuencia (asociada a una onda) el físico Louis DeBroglie postula su ecuación[4]

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad (1)$$

que también se puede escribir como:

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

En esta se relaciona la longitud de onda con el momento de esta partícula. Esto fundamenta entonces una dualidad onda partícula fuera de los fotones (es decir la luz). Sin embargo, ¿cómo se comprobaría experimentalmente? Con este motivo se usó la interferometría de rayos X para detectar interferencia entre electrones. Lo que se hace en esencia es lanzar electrones contra estructuras cristalinas que al chocar se reflejan de manera especular y elástico. Además, dado que tenemos varias capas, un electrón puede chocar en una capa inferior y por tanto recorrer una distancia mayor (correspondiente a $2d \sin \theta$). Ahora bien, si se cumple que los electrones son ondas debería verse interferencia constructiva en caso de que la distancia sea equivalente a un múltiplo entero de la longitud de onda.

$$2d_i \sin \theta = n\lambda \quad (3)$$

esta se conoce como la ley de Bragg

^{*} correo institucional: a.lopez8@uniandes.edu.co

^{**} correo institucional: s.montoyar2@uniandes.edu.co

^a Utilizar esta forma para reportar los datos, note que las unidades están en un cuadro de texto. TODO debe llevar unidades e incertidumbre, siempre.

II. METODOLOGIA

Nota: Si bien se describiría brevemente las conexiones a realizar las instrucciones concretas de cómo conectar cada configuración se encuentran en la guía como gráficas. Por lo tanto la explicación aquí dada es limitada.

Esta práctica se puede dividir en dos partes concretas dadas las configuraciones posibles del material.

A. Muestra de Grafito Amplificado

Antes de conectar cualquier cable se debe insertar el tubo de difracción de electrones en el soporte. Luego de esto se identifican las 6 ranuras identificadas por C , X y A que representan el cátodo, electrodo de enfoque y ánodo. Además están las ranuras F_1 y F_2 en donde se colocará un voltaje de 6.3 V AC para desprender los electrones.

Luego de esto, en la pantalla se detectarían los electrones desprendidos de modo que se pueda observar la estructura del material. Además, con un imán se pueden desviar los electrones a distintas regiones de la muestra. El objetivo de esta parte es comprobar la estructura del grafito y describirlo.

B. Difraccion de Electrones

Configurando de manera similar al punto anterior pero conectando la entrada de X a C en vez de a A entramos en la segunda configuración en donde se observaría en la pantalla dos círculos concéntricos (patrón de interferencia) de un radio dependiente al voltaje suministrado. Este radio a de cumplir la ley de Bragg y aparecer de manera constructiva en distancias múltiples de la longitud. Por tanto, para esta práctica se deben tomar los datos de voltaje, diámetro de cada círculo. Además se medirá el ancho para el patrón de difracción y el cómo cambia el patrón al exponerlo al campo del imán incluido.

III. CUARTA PREGUNTA

Para iniciar este punto, probablemente lo mas facil es hacerlo con codigo. Lo primero es despejar la distancia como:

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{4}{3} \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

$$d_{hkl}^2 = \frac{1}{\frac{4}{3} \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}}$$

$$d_{hkl} = \sqrt{\frac{1}{\frac{4}{3} \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}}}$$

Nota: Es importante aclarar que pusimos aun el termino $\frac{l^2}{c^2}$ sin embargo, dado que sabemos que $l = 0$ este termino desaparecería. Por generalidad no lo quitamos.

Ahora bien, con esto podemos implementar un codigo:

```
1 from math import pow, sqrt
2
3 def distance(h: int,
4             k: int,
5             l: int = 0,
6             a: float = 0.2461,
7             c: float = 0.6708) -> float:
8     inv_d = (4/3) * (pow(h, 2) + (h * k) +
9                    pow(k, 2))/pow(a, 2) + pow(l, 2)/pow(c, 2)
10    return sqrt(1/inv_d)
11
12 values = set()
13 h = 1
14 while len(values) < 5:
15     for k in range(h + 1):
16         values.add(distance(h, k))
17     h += 1
18
19 print(values)
```

Como puede notar, este codigo simplemente implementa la ecuacion dada y luego itera ingresando sobre un *set* de python los valores. De modo tal que al encontrar 5 valores diferentes los imprime. Esto da como resultado

- 0.2131288518713504
- 0.12305
- 0.1065644259356752
- 0.08055513418061659
- 0.061525

IV. QUINTA PREGUNTA

Para iniciar, debemos saber que la densidad del grafito es $2,26 \frac{g}{cm^3}$ [6]. Ahora bien, la masa de un atomo seria

el peso atomico dividido por el numero de avogadro lo que daria:

$$m = \frac{12 \frac{g}{mol}}{6,022 \times 10^{23}}$$

$$\approx 1,995 \times 10^{-23} \frac{g}{atom}$$

Ahora el volumen que ocupa un atomo esta a nuestra disposicion pues conocemos su densidad y su peso. Por lo tanto nos daria:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$= \frac{1,995 \times 10^{-23}}{2,26 g/cm^3}$$

$$= 8,87 \times 10^{-24} cm^3$$

Ahora, con este volumen del atomo podemos calcular el area de la celda unitaria como:

$$A = \frac{V_{atom}}{h}$$

$$= \frac{8,87 \times 10^{-24} cm^3}{335 \times 10^{-10} cm}$$

$$= 2,635 \times 10^{-16} cm^2$$

Dado que estamos en un arreglo honeycomb sabemos que esta area es un triangulo equilatero que nos permite calcular el valor de su lado dado que ya sabemos su area como

$$A = \frac{\sqrt{3}}{4} a^2$$

$$a = \sqrt{\frac{4A}{\sqrt{3}}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \cdot 2,635 \times 10^{-16} cm^2}{\sqrt{3}}}$$

$$= 2,467 \times 10^{-8} cm$$

$$= 247 pm$$

Esta distancia es significativamente menor que la distancia entre planos pues esta ultima es $335 pm$

V. INTRODUCCIÓN

Se da la información básica para ubicar el problema (marco teórico) resaltando la importancia y los métodos utilizados para resolverlo. Se hace un estado del arte del problema experimental abordado: cuándo se realizó este experimento por primera vez(en la historia), bajo qué condiciones, cómo han evolucionado los métodos hasta el montaje con el que va a trabajar y qué alternativas hay actualmente para hacer el experimento. Todo

el estado del arte debe tener las referencias claras de los artículos CIENTÍFICOS ¹ que evidencien una revisión bibliográfica extensa. Se hace énfasis en que esta debe ser básicamente un texto corto que resuma claramente el fenómeno físico y el experimento para estudiarlo. En esta sección se deben explicar las ecuaciones (No hacer pasos intermedios de álgebra en la parte de marco teórico /estado del arte) que se van a utilizar.

En su mayoría, las referencias deben estar en esta sección. Se deben mencionar como: según el autor Lipari [5] en su artículo *Proton and neutrino extragalactic astronomy* se puede deducir que ... como dice Serway en [7].

También puede haber referencias las cuales se usaron pero no se parafrasearon ni se quiere hacer mención específica de la persona. La segunda referencia de la bibliografía es un ejemplo de este caso.

Esta sección debe tener cohesión. Los temas de los que se hablan deben estar conectados, el hilo conductor a lo largo de todo el artículo es muy importante.

VI. MONTAJE EXPERIMENTAL

Descripción BREVE del método, procedimiento y montaje experimental. Debe contener figuras, diagramas explicativos, esquema de circuitos eléctricos si aplica y las condiciones experimentales para la toma de los datos (por ejemplo entre qué valores se va a variar el voltaje en una medición). Este es el nuevo artículo [3]. Se recomienda tomar foto del montaje experimental y luego editarla para que sean claras las partes y procedimientos. NO hacer una lista con los materiales usados, tampoco colocar pasos triviales del procedimiento como por ejemplo *conectar todo de forma adecuada*.

VII. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Resultados: tablas, figuras, regresiones, valores experimentales.

Análisis: Texto argumentando y discutiendo los resultados. Análisis de error.

- Tablas de datos: Deben estar numeradas, tituladas y rotuladas (encabezados con variables y unidades coherentes). Adicionalmente deben estar comentadas o referenciadas en el texto. Ver tabla I como ejemplo.

¹ Puede utilizar notas al pie de página para hacer aclaraciones que considere necesarias en cualquier parte del artículo. Por ejemplo en esta: Se colocó el científico todo en mayúscula para hacer énfasis en que deben ser artículos de revistas científicas y no notas periodísticas o un blog de internet.

- Gráficas: Todas las gráficas deben estar numeradas, tituladas; ejes claros y de tamaño legible, escalas, variables y unidades coherentes. La mayoría de las gráficas tienen ajustes a diferentes tipos de curvas, de ser así, debe presentar en la gráfica la ecuación del ajuste realizado con las variables correspondientes a la gráfica. Todas las gráficas deben estar comentadas o referenciadas en el texto; es decir, en alguna parte del texto debe haber un *cómo se ven en la figura 3* o *los resultados se encuentran en la tabla 2*. No usar, en la siguiente figura, en la siguiente tabla, en la figura de arriba. Si tienen varias gráficas y ven que se pueden agrupar en 1 sola, ¡háganlo! No hacer 1 gráfica por cada toma de datos. Ver figura 1.

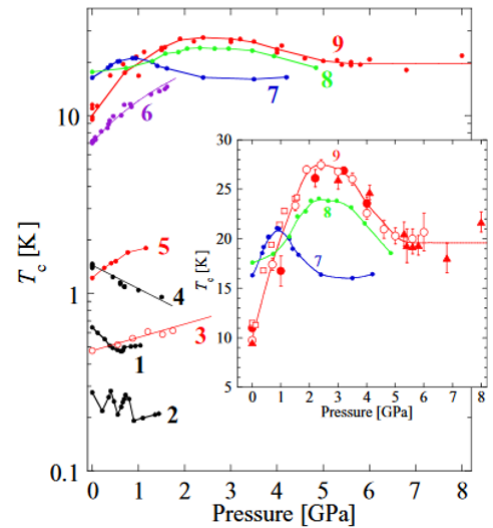


Figura 1. El *caption* de esta figura debe tener una descripción detallada de lo que se está mostrando como resultado. Un *caption* que diga “Gráfica de T vs P” no dice absolutamente nada de cómo fueron obtenidos los datos y los resultados que se pueden concluir a partir de estos. Siempre los datos deben llevar las respectivas barras de error o indicar que el tamaño de estas es muy pequeño para ser visualizadas. Usar colores como los que se ve en la figura para diferenciar fácilmente los datos. Nunca unir los puntos experimentales, las líneas sólidas están reservadas para los ajustes. No usar notación científica de Excel.

- Analizar los resultados expuestos en las tablas y gráficas. Comparar estos resultados con la teoría, objetivos e hipótesis propuestas en la introducción. Se debe reportar si sus resultados y lo que aprendió en la práctica lo lleva a cumplir los objetivos propuestos, si son valores deseables o no; escriba oraciones completas que expresen sus ideas. Si se realizó ajuste, este debe estar referenciado en la gráfica y en el texto (con su respectiva incertidumbre). El cálculo de la incertidumbre del

Cuadro I. Esta es una tabla amplia que ocupa toda la página con un ancho diseño de dos columnas. Se da formato con el entorno `table*`. También demuestra el uso de `\multicolumn` en filas con entradas que abarcan más de una columna. Las tablas deben ser de resultados obtenidos, no de datos crudos. El *caption* debe tener información detallada suficiente para entender lo que se obtuvo sin tener que entrar a leer todo el documento. La tabla debe estar referenciada dentro del texto. En ocasiones se usan notas al pie adicional al *caption* para resaltar detalles de datos distintos. NO COLOCAR TABLAS COMO FIGURAS. No usar notación científica de EXCEL.

Ion	D_{4h}^1		D_{4h}^5	
	1st alternative	2nd alternative	1st alternative	2nd alternative
K	$(2e) + (2f)$	$(4i)$	$(2c) + (2d)$	$(4f)$
Mn	$(2g)^a$	$(a) + (b) + (c) + (d)$	$(4e)$	$(2a) + (2b)$
Cl	$(a) + (b) + (c) + (d)$	$(2g)^a$	$(4e)^a$	
He	$(8r)^a$	$(4j)^a$	$(4g)^a$	
Ag		$(4k)^a$		$(4h)^a$

^a The z parameter of these positions is $z \sim \frac{1}{4}$.

resultado obtenido debe estar situado junto al resultado obtenido, no debe aparecer el resultado al inicio y la incertidumbre al final.

- Cuando consultan un valor experimental que se mide con mucha precisión, por ejemplo una constante física, se denomina: *el valor reportado en la literatura* y colocan la referencia (aconsejo la NIST). No usar más *el valor teórico*.
- No vuelvan nunca a calcular un error porcentual. Con la incertidumbre y el valor reportado en la literatura pueden hacer un mejor análisis.
- Recuerden que todas las incertidumbres llevan 1 cifra significativa (máximo 2 en casos especiales).

VIII. CONCLUSIONES

Se deben contestar las preguntas planteadas inicialmente o dar las razones por las cuales no es posible

hacerlo. Las conclusiones deben ser necesariamente una consecuencia del experimento realizado, es decir que no se deben tocar aspectos que no se hayan expuesto en la sección de resultados y análisis. Si escribe algo que no se encuentra en la sección de resultados y análisis, esto quiere decir que hace falta incluir material en resultados y análisis. Concluir únicamente aspectos pertinentes al trabajo obtenido en el laboratorio; se deben evitar las generalizaciones que no hablan concretamente de lo que lograron o midieron en la práctica experimental. NO USAR ITEMIZE. No reportar resultados nuevos en esta sección, pueden comparar los resultados con los obtenidos por otros autores (por ejemplo sus compañeros o los que encontraron en su revisión bibliográfica).

- [Eje] Se deben referenciar todos los artículos y textos utilizados. si se usó una gráfica o una imagen que no ha sido realizada por ustedes debe ser citada. la omisión de una apropiada referencia se considerará como una falta grave, ya que técnicamente se considera plagio. las referencias deben incluir los títulos de los artículos. mirar el archivo .bib para ver ejemplos de cómo citar correctamente. no wikipedia. no hyperphysics. consultar artículos científicos recomendación: American journal of physics.
- [2] Bahcall, J. N. and Frautschi, S. C. (1964). Neutrino astronomy and intermediate bosons. *Phys. Rev.*, 135:B788–B791.
- [3] Fletcher, R. S., Gaisser, T. K., Lipari, P., and Stanev, T. (1994). sibyll: An event generator for simulation of high

- energy cosmic ray cascades. *Phys. Rev. D*, 50:5710–5731.
- [4] Kittel, C. and McEuen, P. (2018). *Introduction to solid state physics*. John Wiley & Sons.
- [5] Lipari, P. (2008). Proton and neutrino extragalactic astronomy. *Phys. Rev. D*, 78:083011.
- [6] Pierson, H. O. (1993). 3 - graphite structure and properties. In Pierson, H. O., editor, *Handbook of Carbon, Graphite, Diamonds and Fullerenes*, pages 43–69. William Andrew Publishing, Oxford.
- [7] Serway, R., Moses, C., Moyer, C., and Villagómez, H. (2006). *Física moderna*. International Thomson.

APÉNDICE DE CÁLCULO DE ERRORES

Se deben indicar explícitamente los pasos de análisis de error que se hicieron para llegar a al(los) resultado(s). Ejemplo: la propagación de error, incertidumbre

en un ajuste de mínimos cuadrados, análisis estadístico, redondeo de cifras significativas, entre otros.

Las fórmulas de cómo se obtuvieron cada uno de los valores reportados debe ser incluido como si el análisis estadístico se hiciera manualmente.