



Universidad Tecnológica de Bolívar

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FÍSICA CALOR Y ONDAS

GRUPO Y SUBGRUPO (M1 - A)

Informe Experiencia. 8 - Efecto Compton.

Esmeralda Espitaleta Leguia, T00077047.

Jose Jorge Montes Bustillo, T00070416.

Paula Andrea Piedrahita Gonzalez, T00077912.

Mateo De Jesus Reyes Pereira, T00077079.

Alejandro Pedro Steinman Cuesta, T00077151.

Revisado Por

Prof. Kevin David Mendoza Vanegas.

13 de octubre de 2024

1. Introducción

El efecto Compton, observado por primera vez en 1923 por el físico Arthur H. Compton, es un fenómeno que evidencia la dualidad de la luz, en particular su naturaleza corpuscular. En este efecto, cuando un fotón interactúa con un electrón en reposo, se produce un cambio en la longitud de onda del fotón dispersado. Este cambio es el resultado de la transferencia de parte de la energía y momento del fotón al electrón, un proceso que puede ser descrito mediante la conservación de la energía y el momento. La importancia del efecto Compton radica en su confirmación de que los fotones, al igual que las partículas, poseen momento, lo cual constituyó una evidencia crucial en el desarrollo de la teoría cuántica de la luz.

Este informe presenta los resultados obtenidos al verificar experimentalmente el efecto Compton utilizando radiación gamma y midiendo la variación en la energía y longitud de onda de los fotones dispersados al pasar a través de un dispersor de aluminio.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Verificar experimentalmente el efecto Compton a través de la medición de la dispersión de rayos gamma en un material dispersante.

2.2. Objetivos específicos

- Medir la distribución energética de los fotones dispersados para distintos ángulos entre la muestra y el detector.
- Calcular la longitud de onda Compton del electrón y evaluar su error respecto al valor aceptado.
- Comparar los resultados experimentales con la ecuación teórica del cambio en la longitud de onda del efecto Compton.

3. Marco Teórico

El **efecto Compton** es un fenómeno observado cuando los rayos X o rayos gamma colisionan con electrones de un material. Fue descubierto por el físico estadounidense Arthur H. Compton en 1923, quien observó que la longitud de onda de los rayos X dispersados aumentaba tras la colisión, lo que significaba una pérdida de energía por parte de los fotones.

En términos más detallados, el efecto Compton se describe como una colisión entre un fotón (una partícula de radiación electromagnética) y un electrón inicialmente en reposo. Durante la colisión, parte de la energía y el momento del fotón se transfieren al electrón, lo que provoca que el fotón salga en una nueva dirección con menor energía (mayor longitud de onda). Este fenómeno confirmó la naturaleza dual de la luz, mostrando que, además de comportarse como una onda, también tiene un comportamiento corpuscular (de partículas).

La variación en la longitud de onda del fotón dispersado se puede calcular mediante la **ecuación de Compton**:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$$

donde:

- $\Delta\lambda$ es el cambio en la longitud de onda,
- h es la constante de Planck,
- m_e es la masa del electrón en reposo,
- c es la velocidad de la luz en el vacío, y
- θ es el ángulo de dispersión del fotón.

Este experimento proporcionó evidencia clave de la **naturaleza corpuscular de la radiación electromagnética**, al demostrar que los fotones tienen energía y momento y que pueden transferirlos a otras partículas en colisiones.

3.1. ¿Cuál es el rango de energías para el espectro de Rayos X y para el de Rayos Gamma?

Los rayos X y Gamma tienen una longitud de onda muy pequeña pero una frecuencia muy alta. Los rayos X presentan una frecuencia de 3×10^{18} Hz y una longitud de onda de 10^{-10} m, mientras que los rayos Gamma tienen frecuencia de 3×10^{20} Hz y una longitud de onda de 10^{-12} m. Los fotones de rayos X tienen energías que oscilan entre 100 eV y 100.000 eV (o 100 keV). Por el contrario, los rayos gamma corresponden a fotones con energías superiores a 100 keV.

3.2. ¿En qué consiste el efecto Compton?

El efecto Compton describe el aumento en la longitud de onda que experimenta un fotón tras interactuar con un electrón libre, caracterizado por una baja energía de ligadura. Durante esta interacción, el fotón transfiere parte de su energía al electrón, lo que provoca su desviación en un ángulo determinado. Como consecuencia, el fotón experimenta un cambio en su longitud de onda. Es importante destacar que la frecuencia o longitud de onda de la radiación dispersada depende exclusivamente del ángulo de dispersión.

Para interpretar el desplazamiento de las longitudes de onda observado en el experimento, Compton empleó la noción de Einstein de la luz como partícula.

3.3. Realice los detalles para llegar a las expresiones (6) y (7) a partir de la formulación relativista de la conservación de la energía y de la cantidad de movimiento.

Partiendo de las ecuaciones (4) y (5), que describen la conservación de la cantidad de movimiento en las direcciones x e y , respectivamente, tenemos:

$$\frac{h}{\lambda_1} - \frac{h}{\lambda_2} \cos \theta = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \cos \varphi \quad (4)$$

$$0 = \frac{h}{\lambda_2} \sin \theta + \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \sin \varphi \quad (5)$$

Donde:

- h representa la constante de Planck.
- λ_1 es la longitud de onda asociada al fotón incidente.
- λ_2 corresponde a la longitud de onda del fotón dispersado.
- θ y φ son los ángulos de dispersión.
- m_0 denota la masa en reposo del electrón.
- v es la velocidad del electrón posterior a la colisión.
- c es la velocidad de la luz en el vacío.

La energía de un fotón está relacionada con su longitud de onda a través de la ecuación de Planck:

$$E_1 = \frac{hc}{\lambda_1}, \quad E_2 = \frac{hc}{\lambda_2} \quad (1)$$

Donde E_1 es la energía del fotón incidente y E_2 corresponde a la energía del fotón dispersado.

La energía total relativista del electrón, E_e , se expresa como:

$$E_e = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (2)$$

Mientras que el momento relativista del electrón, p_e , viene dado por:

$$p_e = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (3)$$

Aplicando las ecuaciones (4) y (5), podemos manipular las expresiones para eliminar la dependencia de v , obteniendo así una relación directa entre λ_1 , λ_2 , θ y las constantes físicas. Al sumar estas ecuaciones y aplicar identidades trigonométricas, se reduce la cantidad de términos, conduciendo a la ecuación que describe el cambio en la longitud de onda:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta) \quad (4)$$

Esta es la ecuación (6), que establece la variación en la longitud de onda del fotón dispersado como función del ángulo de dispersión θ .

Considerando la conservación de la energía, la energía total antes de la colisión (fotón más electrón en reposo) debe ser igual a la energía total después de la colisión (fotón dispersado más electrón en movimiento):

$$E_1 + m_0c^2 = E_2 + \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (5)$$

Sustituyendo la expresión obtenida en la ecuación (6) para las longitudes de onda en términos de energía, obtenemos la siguiente relación:

$$E_2 = \frac{E_1}{1 + \frac{E_1}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)} \quad (6)$$

Esta es la ecuación (7), que describe la energía del fotón dispersado en función de la energía del fotón incidente E_1 , el ángulo de dispersión θ , y la masa en reposo del electrón m_0 .

3.4. ¿Cómo se calcula la Longitud de onda de Compton para un electrón y qué valor tiene?

La longitud de onda de Compton para un electrón se calcula utilizando la fórmula:

$$\lambda_C = \frac{h}{m_0c}$$

Donde: - h es la constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J·s), - m_0 es la masa en reposo del electrón ($9,109 \times 10^{-31}$ kg), - c es la velocidad de la luz en el vacío ($3,0 \times 10^8$ m/s).

Al sustituir los valores, se obtiene:

$$\lambda_C = \frac{6,626 \times 10^{-34}}{(9,109 \times 10^{-31})(3,0 \times 10^8)} \approx 2,43 \times 10^{-12} \text{ m}$$

Por lo tanto, el valor de la longitud de onda de Compton para un electrón es aproximadamente $2,43 \times 10^{-12}$ metros, o 2,43 pirómetros (pm).

3.5. ¿Por qué el Efecto Compton evidencia la naturaleza corpuscular de la radiación?

Como sabemos la radiación se describe como corpuscular, ya que está compuesta por un conjunto de partículas pequeñas, en este caso, está compuesta de fotones. El efecto Compton demuestra esto porque este describe las interacciones de los fotones con otras partículas y como se mueve y varía su longitud de onda.

4. Montaje Experimental

A continuación se describen brevemente los materiales utilizados en el montaje experimental para la verificación del Efecto Compton:

- **Sensor-CASSY:** Sistema de medición multifuncional que se conecta a una computadora para registrar y procesar señales eléctricas. En este experimento, se usa para detectar los datos de energía de los fotones dispersados.
- **CASSY Lab 2:** Software utilizado para analizar los datos recogidos por el Sensor-CASSY. Facilita la visualización, interpretación y almacenamiento de los resultados experimentales.
- **Unidad MCA (Multichannel Analyzer):** Analizador multicanal que registra la distribución de energía de los fotones gamma, permitiendo la visualización de los espectros energéticos.
- **Preparado mixto α , β , γ :** Fuente radiactiva que emite partículas alfa (α), beta (β) y rayos gamma (γ). Se utiliza para calibrar el contador de centelleo en el experimento.
- **Equipo para efecto Compton:** Conjunto de instrumentos y materiales diseñados específicamente para medir y observar el efecto Compton. Incluye detectores y dispersores de aluminio.
- **Preparado de Cs-137 (3.7 MBq):** Fuente radiactiva de cesio-137 que emite radiación gamma de 662 keV, utilizada como la fuente de fotones en el experimento de dispersión.
- **Contador de centelleo:** Detector que mide la radiación gamma mediante la conversión de energía en luz (centelleo), para posteriormente detectar los fotones generados.
- **Etapas de salida de detector:** Componente electrónico que amplifica y transmite las señales del detector de centelleo al sistema de medición.

- **Fuente de alimentación de alta tensión (1.5 kV):** Proporciona la alta tensión necesaria para el funcionamiento óptimo del detector de centelleo.
- **PC con Windows XP/Vista/7:** Computadora empleada para ejecutar el software CASSY Lab 2 y procesar los datos obtenidos durante el experimento.

Se realizaron un total de doce mediciones con seis diferentes ángulos, se repetía con el mismo ángulo una medición con dispersor de aluminio y otra sin este, para obtener los datos correspondientes a la experiencia, los montajes se realizaron como se ve en la imagen pero alterando los ángulos cada dos mediciones

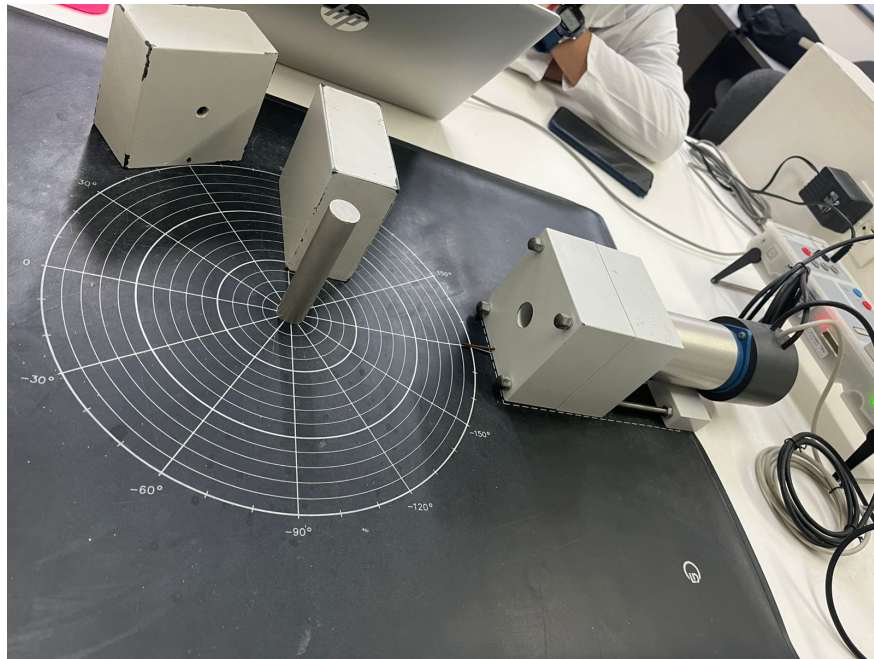


Figura 4.1: Medición con el ángulo de sesenta grados, dispersor de aluminio y blindaje adicional.

5. Datos Experimentales

En la realización de la experiencia se han obtenido los siguientes datos individuales:

- Energía incidente = 661.6 Kev
- $m_0 = 9,11 * 10^{-21}$

Angulo (°)	Energía Dispersada (Kev)	σ (Kev)
0	659,6	19,7
30	547,6	35,1
60	390,5	15,6
90	270	19,2
120	210,4	15,3

Cuadro 1: Datos obtenidos en la experiencia

6. Análisis de datos

- 6.1. Realice una gráfica de la energía registrada en el experimento para cada ángulo de dispersión y obtenga la energía promedio correspondiente con su respectiva incertidumbre. ¿A qué rango del espectro electromagnético corresponden?

Basado en la Tabla 1, graficamos.

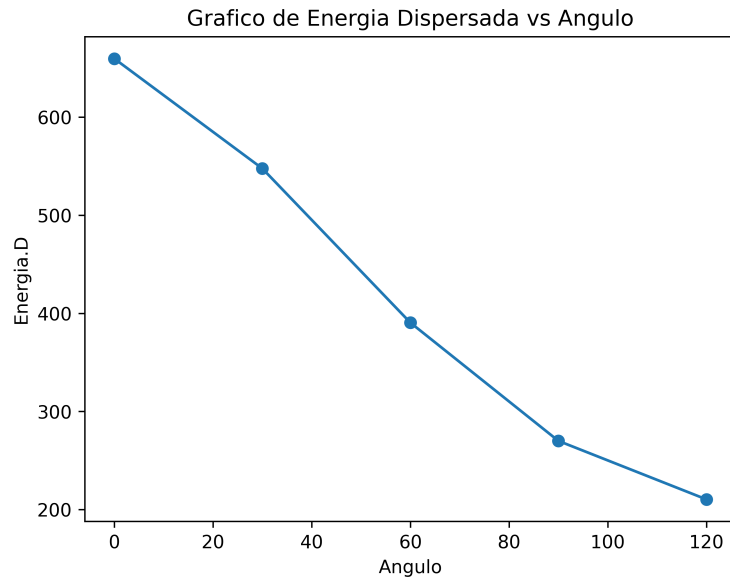


Figura 6.1: Energia dispersada vs Angulo

Mediante este análisis, obtenemos que la energía promedio es de 415,62 Kev. Aplicando la formula (7). tenemos como resultado lo siguiente:

Angulo (°)	E2
0	659,6
30	2,04E-21
60	5,46E-22
90	2,73E-22
120	1,82E-22

Cuadro 2: Energía

Perteneciendo al mismo rango de infrarrojo.

6.2. Para cada ángulo considerado en el experimento calcule la energía de los fotones dispersados usando la ecuación (7). Para todos sus cálculos tome como energía incidente E1, la energía registrada a 0° sin material dispersor.

La ecuación de Compton para la energía dispersada (ecuacion 7) está dada por:

$$E_2 = \frac{E_1}{1 + \frac{E_1}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)}$$

$E_1 = 661,6 \text{ KeV}$: Energía incidente registrada a 0° sin material dispersor

$m_0 c^2 = 511 \text{ KeV}$: Energía del electrón en reposo

θ : Angulo de dispersión.

Realizando los calculos, se determina que:

Cuando $\theta = 0^\circ$:

$$E_2 = \frac{661,6}{1 + \frac{661,6}{511} (1 - \cos 0^\circ)} = 661,6 \text{ KeV}$$

Cuando $\theta = 30^\circ$:

$$E_2 = \frac{661,6}{1 + \frac{661,6}{511} (1 - \cos 30^\circ)} = 3,80 \text{ KeV}$$

Cuando $\theta = 60^\circ$:

$$E_2 = \frac{661,6}{1 + \frac{661,6}{511} (1 - \cos 60^\circ)} = 1,02 \text{ KeV}$$

Cuando $\theta = 90^\circ$:

$$E_2 = \frac{661,6}{1 + \frac{661,6}{511} (1 - \cos 90^\circ)} = 0,51 \text{ KeV}$$

Cuando $\theta = 120^\circ$:

$$E_2 = \frac{661,6}{1 + \frac{661,6}{511} (1 - \cos 120^\circ)} = 0,34 \text{ KeV}$$

6.3. Analice si la expresión (7) de Compton se cumple experimentalmente. Para ello observe si los valores de energía calculados con dicha ecuación (7) están dentro del rango de energía establecido por la incertidumbre de cada medida experimental. ¿Se verifica la validez de la ecuación para el efecto Compton? Calcule de la longitud de Onda Compton para el electrón.

Ángulo 0° :

Energía calculada: 661.6 KeV

Rango experimental: $659,6 \pm 19,7 \text{ KeV} = (639,9, 679,3)$

El valor calculado está dentro del rango experimental, por tanto la ecuación se cumple.

Ángulo 30° :

Energía calculada: 3.80 KeV

Rango experimental: $547,6 \pm 35,1 \text{ KeV} = (512,5, 582,7)$

El valor calculado está fuera del rango experimental, por tanto la ecuación no se cumple.

Ángulo 60° :

Energía calculada: 1.02 KeV

Rango experimental: $390,5 \pm 15,6 \text{ KeV} = (374,9, 406,1)$

El valor calculado está fuera del rango experimental, por tanto la ecuación no se cumple.

Ángulo 90° :

Energía calculada: 0.51 KeV

Rango experimental: $270 \pm 19,2 \text{ KeV} = (250,8, 289,2)$

Resultado: El valor calculado está fuera del rango experimental, por tanto la ecuación no se cumple.

Ángulo 120°:

Energía calculada: 0.34 KeV

Rango experimental: $210,4 \pm 15,3 \text{ KeV} = (195,1, 225,7)$

El valor calculado está fuera del rango experimental, por tanto la ecuación no se cumple

6.4. Con los datos experimentales calcule el cambio en la longitud de onda de los fotones incidentes para cada ángulo de dispersión.

La formula para hallar el cambio en la longitud de onda es:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos(\theta)) \quad (7)$$

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$m_0 = 9,10 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Para 0°:

$$\Delta\lambda = \frac{6,626 \times 10^{-34}}{9,10 \times 10^{-31} * 3 \times 10^8} (1 - \cos(0)) \quad (8)$$

$$\Delta\lambda = 0 \quad (9)$$

Para 30°:

$$\Delta\lambda = \frac{6,626 \times 10^{-34}}{9,10 \times 10^{-31} * 3 \times 10^8} (1 - \cos(30)) \quad (10)$$

$$\Delta\lambda = 3,25 \times 10^{-13} \text{ m} \quad (11)$$

Para 60°:

$$\Delta\lambda = \frac{6,626 \times 10^{-34}}{9,10 \times 10^{-31} * 3 \times 10^8} (1 - \cos(60)) \quad (12)$$

$$\Delta\lambda = 1,21 \times 10^{-12} \text{ m} \quad (13)$$

Para 90°:

$$\Delta\lambda = \frac{6,626 \times 10^{-34}}{9,10 \times 10^{-31} * 3 \times 10^8} (1 - \cos(90)) \quad (14)$$

$$\Delta\lambda = 2,42x10^{-12}m \quad (15)$$

Para 120°:

$$\Delta\lambda = \frac{6,626x10^{-34}}{9,10x10^{-31} * 3x10^8}(1 - \cos(120)) \quad (16)$$

$$\Delta\lambda = 3,63x10^{-12}m \quad (17)$$

6.5. Realice una gráfica de cambio de lambda vs angulo.

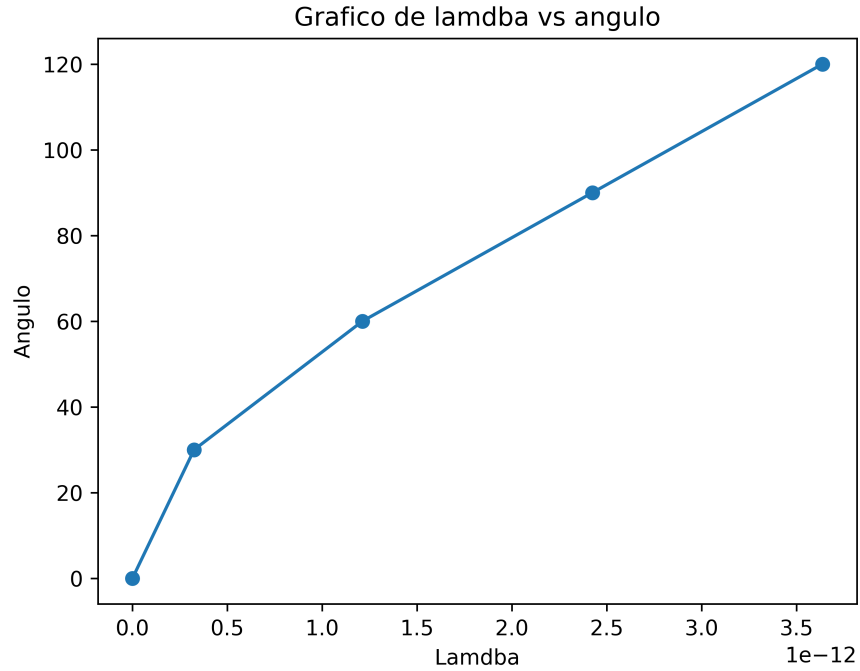


Figura 6.2: Lambda vs Angulo

6.6. Obtenga la función analítica que mejor se ajusta a la gráfica con los datos experimentales cambio de lambda vs angulo . Tenga en cuenta la ecuación (6).

$$y = 9x10^{-13} * -1x10^{-12}$$

6.7. Realice una grafica de la función encontrada para ángulos entre 0° y 180° y superpongala a la gráfica obtenida en el ítem 5.

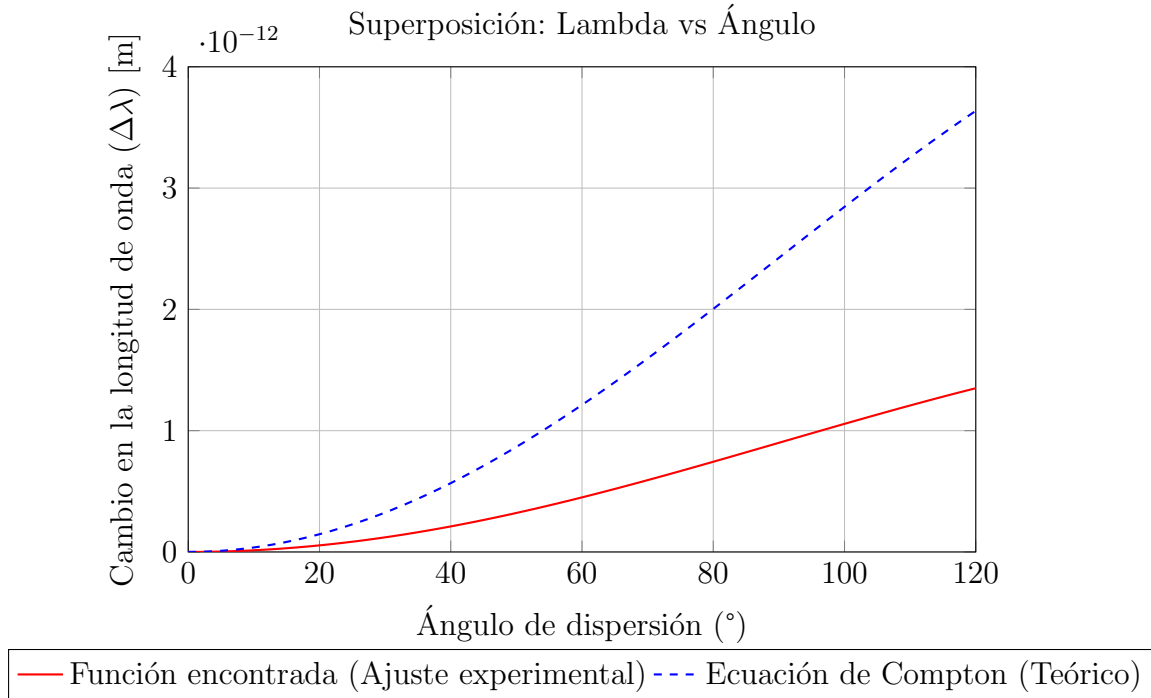


Figura 6.3: Superposición de las funciones encontradas y teóricas

6.8. Calcule el valor de la Longitud de Onda Compton para el electrón, comparando la función encontrada que mejor se ajusta a los datos experimentales (ítem 6) con la ecuación (6). Calcule su error respecto al valor aceptado actualmente.

$$\epsilon = \frac{|2,67 \times 10^{-12} - 2,42 \times 10^{-12}|}{2,42 \times 10^{-12}} * 100 \% \quad (18)$$

$$\epsilon = 10,24 \% \quad (19)$$

7. Conclusión

La presente practica de laboratorio estuvo centrada en un objetivo principal que fue analizar el comportamiento de las partículas radiantes cuando estas interactúan o chocan con un cuerpo dispersante. En base a los resultados obtenidos, se pudo llegar a la conclusión de que la longitud de onda de la radiación es dependiente del ángulo de incidencia en el cuerpo dispersor. De hecho, al graficar los datos obtenidos, se determinó que esta variación en la longitud de onda proporcional al aumento de dicho ángulo, el nombre físico de esta variación de la longitud de onda se denomina longitud de onda de Compton. Por otro lado, también se pudo analizar que la energía restante de las partículas de radiación; esta es la energía no absorbida por los electrones, depende únicamente del ángulo comprendido de la dirección de la radiación incidente y la dirección de la radiación dispersada

Bibliografía

- [1] Young, H. D. Y Freedman, R. A. (2013). Física universitaria.