

Física Calor Y Ondas

Grupo 1

H1

Laboratorio 8- EFECTO COMPTON: VERIFICACIÓN DE LA PÉRDIDA DE ENERGÍA DE LOS FOTONES DISPERSADOS

Revisado por:

Duban Andrés Paternina Verona

28 de agosto 2023

Introducción

El efecto Compton es el término utilizado para un resultado inusual observado cuando los rayos X se dispersan en algunos materiales. Según la teoría clásica, cuando una onda electromagnética se dispersa de los átomos, se espera que la longitud de onda de la radiación dispersada sea la misma que la de la radiación incidente. En contra de esta predicción de la física clásica, las observaciones muestran que cuando los rayos X se dispersan en algunos materiales, como el grafito, los rayos X dispersados tienen longitudes de onda diferentes de las de los rayos X incidentes [1].

El efecto Compton reveló la necesidad de reconsiderar nuestra comprensión de cómo interactúa la luz con la materia. En este laboratorio, examinaremos este intrigante fenómeno y su importancia en la confirmación de uno de los conceptos fundamentales de la física: la disminución de energía de los fotones dispersados.

Objetivos

General

Explicar de manera precisa el comportamiento y pérdidas energéticas producidas por el efecto Compton, utilizando un enfoque experimental registrando la distribución energética de los fotones (γ) en un dispersor de aluminio para diferentes ángulos entre la muestra y el detector.

Específicos

1. Analizar cómo los fotones dispersados por electrones experimentan una pérdida de energía.
2. Determinar experimentalmente el valor de la longitud de onda Compton
3. Señalar la relación entre el cambio en longitud de onda (o energía) del fotón y el ángulo de dispersión.

Preparación de la practica

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

Los rayos gamma son una forma de radiación electromagnética que posee una energía extraordinariamente elevada y longitudes de onda considerablemente más diminutas que las de la luz visible. En el extremo superior del espectro electromagnético, los fotones de los rayos gamma tienen una gran cantidad de energía. Los rayos X, aunque con una energía ligeramente menor, se encuentran en cercanía inmediata a los rayos gamma en el espectro, y sus rangos de frecuencia se solapan.

Desde un punto de vista teórico, los fotones que componen el haz de rayos X generado por el tubo exhiben una gama continua de energías que oscilan entre cero y un valor máximo determinado por la tensión o kilovoltaje aplicado al tubo de rayos X. Por ejemplo, si aplicamos una tensión de 90 kV entre el cátodo y el ánodo, los electrones ganarán una energía de 90 keV y, al impactar contra el ánodo, cederán energía en forma de radiación de frenado. Los fotones de rayos X emitidos presentarán energías que varían entre cero y 90 keV. Esta distribución de energías conforma un espectro ininterrumpido. En contraste, los rayos gamma poseen longitudes de onda de aproximadamente 100 picómetros o menos, con una energía por fotón de al menos 10 keV.

2. ¿En qué consiste el efecto Compton?

El físico Arthur Holly Compton identificó en 1923 el fenómeno conocido como efecto Compton. Este fenómeno implica que la radiación electromagnética, al incidir en ciertas superficies, se dispersa con una longitud de onda más larga que la original. La explicación de este fenómeno se encuentra en los principios de la mecánica cuántica. Al considerar que la radiación electromagnética está compuesta por partículas de energía llamadas fotones, su interacción con la materia puede llevar a la absorción de algunos de estos fotones. Como resultado, la energía total de la radiación disminuye, así como su frecuencia, lo que da lugar a un aumento en la longitud de onda.

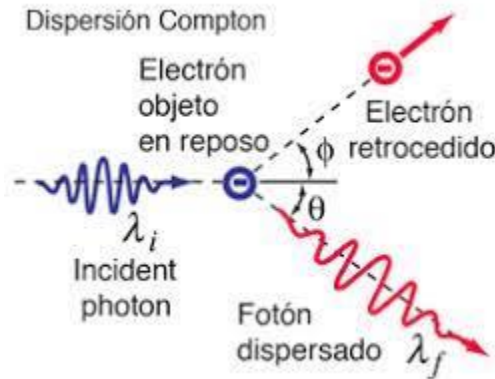


Imagen 1. Dispersión Compton

Para elucidar el desplazamiento de las longitudes de onda observado en el experimento, Compton se valió de la concepción de Einstein acerca de la luz como partícula. Este fenómeno ocupa un lugar de relevancia en la historia de la física, ya que evidencia que la radiación electromagnética no puede ser completamente explicada únicamente como un fenómeno ondulatorio. La explicación del efecto Compton proporcionó un argumento persuasivo a la comunidad científica de que las ondas electromagnéticas pueden comportarse, de hecho, como una corriente de fotones, consolidando así el concepto de fotón en una base sólida.

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.

$$E_f = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{energía del fotón})$$

$$p_f = \frac{h}{\lambda} \quad (\text{cantidad de movimiento})$$

La conservación de la energía del fotón es la siguiente:

$$E_f + m_0c^2 = \tilde{E}_f + E$$

Despejando la energía (E), elevamos todo al cuadrado y dividimos ambos lados de la ecuación sobre c obtenemos el valor de p:

$$\left(\frac{E_f}{c} - \frac{E_f}{c}\right)^2 + 2m_0c\left(\frac{E_f}{c} - \frac{E_f}{c}\right) = p^2$$

Expresando todo en términos de p, tendríamos:

$$(p_f - \tilde{p}_f)^2 + 2m_0c(p_f - \tilde{p}_f) = p^2$$

Es necesario reescribir el término p al cuadrado utilizando el coseno para obtener la expresión deseada.

$$(p_f - \widetilde{p}_f)^2 + 2m_0c(p_f - \widetilde{p}_f) = p_f^2 + \widetilde{p}_f^2 - 2p_f\widetilde{p}_f \cos(\theta)$$

$$\frac{1}{\widetilde{p}_f} - \frac{1}{p_f} = \frac{1}{m_0c} (1 - \cos(\theta)) \quad (1)$$

El siguiente factor se llama longitud de onda de Compton del electrón:

$$\frac{1}{m_0c} = \frac{h}{m_0c} = \lambda_c = 2,43\text{pm}$$

Mientras que la expresión $(\frac{1}{\widetilde{p}_f} - \frac{1}{p_f})$ representa el desplazamiento.

Con la expresión (1) podemos expresarla en términos de energía

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

ecuación 9. Expresión final (Energía del fotón dispersado)

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

Arthur Compton realizó un cálculo para determinar cuánta energía perdería un fotón al colisionar con un átomo, considerando que el momento del fotón era h/λ .

Concluyó que el cambio en la energía era tan pequeño que no se podía observar el efecto mecánico de un fotón en algo tan grande como un átomo completo. Sin embargo, si un fotón colisionara con un electrón, que tiene una masa mucho menor, el fotón transferiría una cantidad significativa de energía al electrón.

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

La teoría clásica postula que cuando una onda electromagnética incide en un material con cargas, estas cargas oscilarán a la misma frecuencia y emitirán ondas con la misma frecuencia. Sin embargo, el experimento de dispersión de rayos X de Compton reveló que la radiación dispersada tenía una frecuencia menor que la incidente, lo cual contradecía la teoría clásica. Compton abordó esta discrepancia al considerar la naturaleza corpuscular de la luz y tratarla como un conjunto de fotones. En este contexto, la dispersión se interpreta como una colisión entre un

fotón incidente y un electrón, lo que explicó la discrepancia observada. Compton demostró que los rayos X se comportan como partículas con un momento lineal $p = h/\lambda$ cuando interactúan con electrones. A través de la medición de las longitudes de onda de los rayos X antes y después de la dispersión, pudo determinar el cambio en el momento lineal del fotón de rayos X.

Resumen de procedimiento

El experimento implica el uso de un contador de centelleo calibrado en energía para medir la distribución energética de los fotones gamma dispersados a diferentes ángulos. Se realiza una calibración en energía del contador y se registran los espectros con y sin un material dispersante de aluminio. A partir de estos datos, se calcula la energía promedio de los fotones y se verifica la ecuación de Compton para la dispersión de la radiación gamma. Además, se calcula la longitud de onda de Compton para el electrón y se compara con el valor teórico.

Para ser más específicos el experimento se llevará a cabo utilizando varios materiales y equipos, como el equipo de efecto Compton, una fuente radiactiva de Cs-137, un detector de centelleo, la unidad MCA, el sistema CASSY y el software CASSY Lab. Estos elementos se utilizarán para montar un arreglo teórico que nos permitirá realizar el experimento. Después de la configuración inicial, se realizará una calibración en energía utilizando el software en una dirección específica para registrar los espectros según las líneas predefinidas. Luego, se variará la dirección o el ángulo de posición, y en algunas ocasiones se usará un dispersor de aluminio. Los datos experimentales obtenidos se registrarán en tablas y se someterán a un análisis posterior.

Bibliografía

[1] Moebs, W., Ling, S. J., & Sanny, J. (2021, noviembre 17). 6.3 El efecto Compton. Física universitaria volumen 3; OpenStax. <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-3/pages/6-3-el-efecto-compton>

- El efecto fotoeléctrico y el efecto Compton - hiru. (s/f). Hiru.eus. Recuperado el 8 de noviembre de 2023, de <https://www.hiru.eus/es/fisica/el-efecto-fotoelectrico-y-el-efecto-compton>

- Radiación de rayos gamma. (s/f). Windows2universe.org. Recuperado el 8 de noviembre de 2023, de https://www.windows2universe.org/physical_science/magnetism/em_gamma_ray.html&lang=sp