

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FÍSICA CALOR Y ONDAS

GRUPO 1

LAB 8 - EFECTO COMPTON

Verificación de la pérdida de energía de los fotones dispersados

Guía de laboratorio No. 8

Mauro González, T00067622

Revisado Por

Duban Andres Paternina Verona

18 de noviembre de 2023

1. Introducción

El efecto Compton, un fenómeno fundamental en la física de partículas que demuestra la naturaleza corpuscular de los fotones.

El efecto Compton, observado por el físico estadounidense A.H. Compton en 1923, consiste en la dispersión de rayos X por parte de electrones en reposo, lo que resulta en un cambio en la longitud de onda de los fotones dispersados. Esta observación llevó a la conclusión de que la radiación electromagnética también exhibe propiedades corpusculares.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Verificar experimentalmente el efecto Compton mediante la dispersión de radiación gamma por un material dispersante. Esto implica cuantificar el cambio en la longitud de onda y energía de los fotones dispersados y comprobar si estos resultados se ajustan a la teoría de Compton.

2.2. Objetivos específicos

- ▷ Calcular la energía promedio de los fotones gamma para diferentes ángulos de dispersión y determinar a qué rango del espectro electromagnético corresponden.
- ▷ Evaluar experimentalmente si la ecuación de Compton es válida comparando los valores calculados con las mediciones experimentales y sus incertidumbres.
- ▷ Calcular la longitud de onda de Compton para el electrón utilizando los datos experimentales y compararla con el valor aceptado.

3. Preparación de la practica

3.1. [1] [2]

Los fotones que integran el haz de rayos X emitido por el tubo presentan una distribución continua en energías con valores comprendidos, teóricamente, entre 0 y un valor máximo que corresponde al valor de tensión o kilovoltaje aplicado al tubo de rayos X. En efecto, si aplicamos una tensión, por ejemplo, de 90 kV entre el cátodo y el ánodo, los electrones adquirirán una energía de 90 keV, y al chocar contra el ánodo, perderán energía emitiendo radiación de frenado. Los fotones de rayos X emitidos tendrán energías comprendidas entre 0 y 90 keV. Esta distribución de energías forma un espectro continuo.

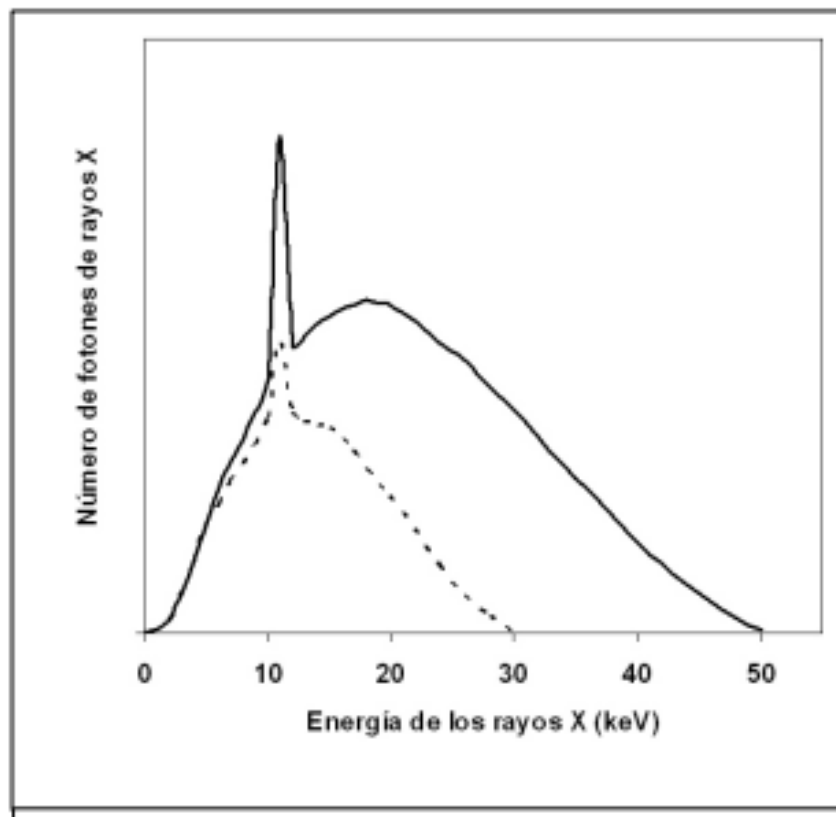
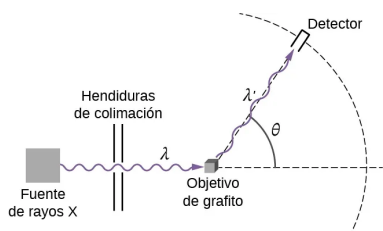


Figura 3.1

Los rayos gamma son la luz más poderosa y energética que existe. Su rango de energía

es tan grande que no tienen bien definido un límite superior de energía. No hay nada en nuestro planeta capaz de producir los rayos gamma de más alta energía, por lo que necesitamos observar el Universo en busca de las fuentes cósmicas más violentas y exóticas para detectarlos y estudiarlos. Los rayos gamma son, por tanto, la luz más energética posible. El Cherenkov Telescope Array (CTA) observará un rango energético de rayos gamma sin precedentes, desde los 20 Gigaelectronvoltios* (GeV) hasta los 300 Teraelectronvoltios (TeV) - billones a trillones de veces más energética que la luz visible.

3.2. [3]



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. Este fenómeno clásicamente inexplicable fue estudiado experimentalmente por Arthur H. Compton y sus colaboradores, y Compton dio su explicación en 1923.

Para explicar el desplazamiento de las longitudes de onda medido en el experimento, Compton utilizó la idea de Einstein de la luz como partícula. El efecto Compton ocupa un lugar muy importante en la historia de la física porque demuestra que la radiación electromagnética no puede explicarse como un fenómeno puramente ondulatorio. La explicación del efecto Compton proporcionó un argumento convincente a la comunidad física de que las ondas electromagnéticas pueden comportarse en efecto como una corriente de fotones, lo que situó el concepto de fotón en una base sólida.

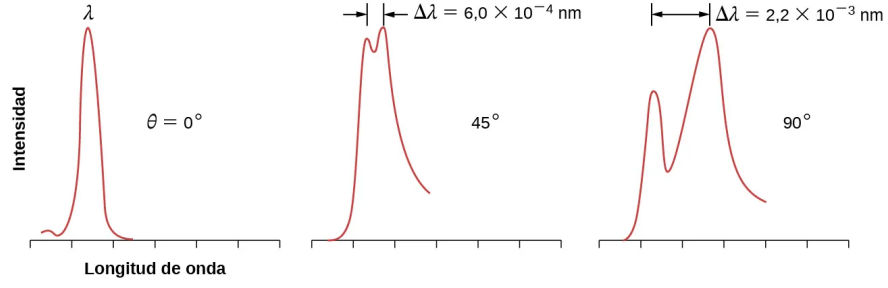


Figura 3.2

3.3.

Energía del fotón

$$E_f = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Cantidad de movimiento

$$\rho_f = \frac{h}{\lambda}$$

La conservación de la energía del fotón es la siguiente

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

Luego,

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_f}{C} - \frac{E_f}{C}\right)^2 + 2m_0C\left(\frac{E_f}{C} - \frac{E_f}{C}\right) &= \rho^2 \\ (\rho_f - \tilde{\rho}_f)^2 + 2m_0c(\rho_f - \tilde{\rho}_f) &= \rho^2 \end{aligned}$$

Es necesario reescribir el termino ρ^2 utilizando el coseno para obtener la expresión deseada

$$\begin{aligned} (\rho_f - \tilde{\rho}_f)^2 + 2m_0c(\rho_f - \tilde{\rho}_f) &= \rho_f^2 + \tilde{\rho}_f^2 - 2\rho_f\tilde{\rho}_f\cos(\theta) \\ \frac{1}{\tilde{\rho}_f} - \frac{1}{\rho_f} &= \frac{1}{m_0c}(1 - \cos(\theta)) \end{aligned} \tag{1}$$

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

$$\frac{1}{m_0 c} = \frac{h}{m_0 c} = \lambda_c = 2,43 pm$$

Mientras que la expresión $(\frac{1}{\rho_f} - \frac{1}{\rho_f})$ representa el desplazamiento

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

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

Ecuación (9). Expresión final (Energía del fotón dispersado)

3.4. [3]

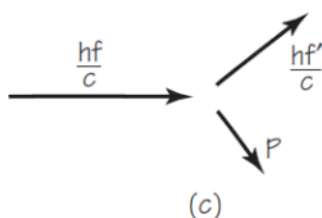
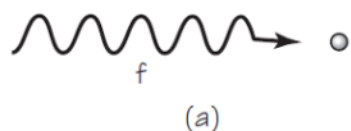
El factor $\frac{h}{m_0 c}$ se llama longitud de onda de Compton del electrón:

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0 c} = 0,00243 nm = 2,43 pm \quad (3)$$

Denotando el desplazamiento como $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$, el resultado final puede describirse como:

$$\Delta\lambda = \lambda_c(1 - \cos \theta) \quad (4)$$

3.5. [4]



Arthur Compton calculó cuánta energía debería perder un fotón en una colisión con un átomo si el momento del fotón fuese $\frac{h}{\lambda}$. Llegó a la conclusión de que el cambio en la energía es demasiado pequeño como para poder observar el efecto mecánico de un fotón en algo tan grande comparativamente como un átomo completo. Pero si un fotón golpeara un electrón, que tiene una masa significativamente más pequeña, el fotón debería transferir una cantidad significativa de energía al electrón.

En 1923, Compton pudo demostrar que los rayos X se comportan de hecho como corpúsculos con momento lineal $p = \frac{h}{\lambda}$ cuando chocan con electrones. Compton midió la longitud de onda (o la frecuencia) de los rayos X incidentes y una vez dispersados y, de esta manera, pudo determinar el cambio en el momento lineal del fotón de rayos X. Al medir por separado

el momento lineal del electrón tras la dispersión, pudo verificar que $p = \frac{h}{\lambda}$ utilizando la ley de conservación del momento.

4. Resumen del 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.

Referencias

- [1] *El haz de radiación. Espectro de Rayos X*. es. 2009.
- [2] CTA [Cherenkov Telescope Array]. *Rayos Gamma*. es. URL: https://www.cta-observatory.org/wp-content/uploads/2020/07/HojadeEjercicios_RayosGamma.pdf.
- [3] William Moebs. *6.3 El efecto Compton - Física universitaria volumen 3 — OpenStax*. es. Nov. de 2021. URL: https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-3/pages/6-3-el-efecto-compton#CNX_UPhysics_39_03_compton1.
- [4] César Tomé. *El comportamiento corpuscular de la luz: el efecto Compton*. es. Dic. de 2019. URL: <https://culturacientifica.com/2019/12/17/el-comportamiento-corpuscular-de-la-luz-el-efecto-compton/>.