



Estudio de la Retrodispersión de Rayos Gamma en un Medio Multielemental

M.L. Cortés^{a,b}, F. Cristancho^{a,b}

^aDepartamento de Física. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

^bCentro Internacional de Física, Bogotá, Colombia

Recibido 23 de Oct. 2007; Aceptado 6 de Mar. 2009; Publicado en línea 30 de Abr. 2009

Resumen

La idea de construir un instrumento basado en la retrodispersión de rayos γ en un medio, que permita la obtención de imágenes similares a las obtenidas con rayos X fue recientemente propuesta. La materialización de tal idea requiere de un estudio del flujo de fotones retrodispersados en un medio multielemental y de los diferentes procesos que contribuyen al resultado total. Mediante aproximaciones analíticas se encuentran estimativos de las contribuciones de los procesos más importantes involucrados en la interacción γ -suelo. Se estudia también el efecto de dispersiones en ángulos pequeños mediante experimentos y simulaciones esquemáticas con Geant4.

Palabras Clave: Retrodispersión gamma, efecto Compton, Simulaciones con Geant4

Abstract

The idea of constructing an instrument based in γ -ray backscattering that allows obtaining images similar to the produced with X rays, was recently proposed. The materialization of such idea needs a study of the flux of backscattered photons in a multielemental medium and of the different processes that contribute to the total result. By means of analytical approximations we find estimates of the contribution of the most important processes involved in γ -soil interaction. Also the effect of small angles scattering is studied using both experiments and Geant4 simulations.

Keywords: Gamma backscattering, Compton effect, Geant4 simulations

©2009. Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

1. Introducción

En la última década la idea de usar técnicas nucleares para la detección de materiales orgánicos ha tomado fuerza. Recientemente fue propuesto uno de estos métodos basado en la retrodispersión de rayos γ [1]. Ya que la probabilidad de que ocurra la retrodispersión depende fuertemente del la composición del medio que se quiera estudiar, es necesario un estudio detallado de la retrodispersión en un medio multielemental que tenga en cuenta aspectos como la atenuación que sufre tanto

el haz incidente como el dispersado, la probabilidad de que el fotón sea dispersado en una dirección que permita su detección, el efecto causado por las dispersiones múltiples dentro del medio, la variación de la intensidad detectada con la densidad del suelo, la humedad, etc. En este trabajo mediante aproximaciones analíticas se encuentra un primer estimativo del número de fotones retrodispersados por un suelo homogéneo. Se estudia también la dispersión en ángulos pequeños mediante simulaciones y de manera experimental.

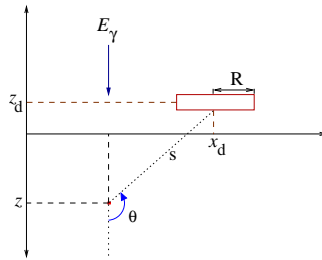


Figura 1. Geometría del problema

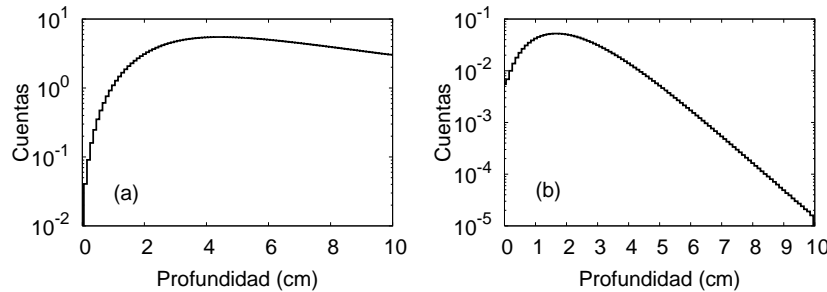


Figura 2. (a) Número de fotones detectados en función de la profundidad de dispersión teniendo en cuenta solamente la probabilidad angular de detección. (b) Resultado añadiendo los efectos de la atenuación del haz.

2. Resultados computacionales

2.1. Solución analítica

Para obtener el número de fotones retrodispersados por un medio multielemental de manera analítica, usamos el modelo simplificado mostrado en la Fig. 1: Un haz colimado de N_0 fotones de energía E_γ es disparado hacia un suelo de densidad ρ y densidad volumétrica de electrones ρ_e . Un detector ideal es usado para registrar los fotones retrodispersados. El número de fotones que llegan al detector por unidad de tiempo, dispersados por el elemento de volumen dV que se encuentra a una profundidad z viene dado por [2]

$$\delta S = N_0 e^{-\mu z} \sigma_c \frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \Delta\Omega \rho_e dV e^{-\mu' s}, \quad (1)$$

donde σ_c es la probabilidad de interactuar por efecto Compton, $d\sigma/d\Omega$ es la sección eficaz de Klein–Nishina y $\Delta\Omega$ es el ángulo sólido que el detector subtende desde la posición z . μ es el coeficiente de atenuación del haz antes de llegar a dV y μ' el de los fotones dispersados. Este modelo no incluye efectos debidos a dispersión múltiple. Con esta aproximación el proceso de retrodispersión se puede dividir en dos subprocesos: la atenuación del haz, que crece exponencialmente con el camino recorrido, y la probabilidad de que cada fotón

sea dispersado en la dirección del detector, que viene dada por $(d\sigma/d\Omega) \Delta\Omega \rho_e dz$. La Fig. 2(a) muestra el número de fotones detectados como función de z , teniendo en cuenta únicamente el efecto de la probabilidad angular de detección. En la Fig. 2(b) se incluyen los efectos de las atenuaciones sufridas por el haz. En ambos casos tomamos $E_\gamma = 60$ keV y un detector de 4 cm de radio en $x_d = 4$ cm y $z_d = 0,1$ cm. Vemos que el efecto de la atenuación del haz reduce en dos órdenes de magnitud el número de cuentas obtenidas y desplaza el punto en el cual el haz sufre más retrodispersión hacia menores profundidades.

Aunque este estudio analítico resulta muy útil para comprender los fenómenos físicos involucrados en el proceso y para evaluar sus contribuciones al resultado total, una descripción más completa resulta prohibitivamente complicada. Para poder tener en cuenta los procesos adicionales hacemos uso de una simulación más completa.

2.2. Simulación

Usando el paquete Geant4 [3] simulamos un haz de rayos γ de 511 keV disparado hacia un suelo de SiO_2 de 10 cm de grosor. Para detectar los fotones transmitidos o dispersados en ángulos pequeños, ponemos el detector en la dirección del haz después de que éste ha

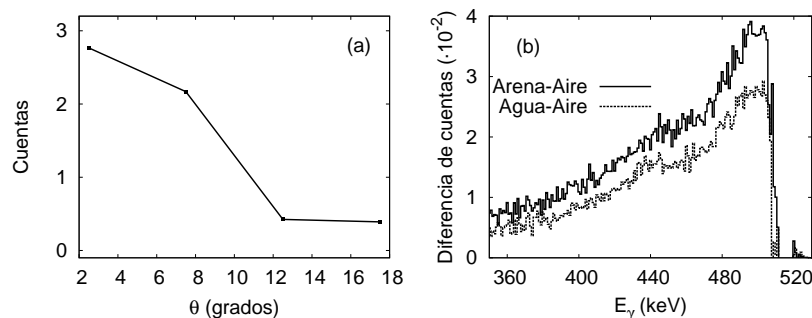


Figura 3. Resultados de la simulación: (a) Número de cuentas en el espectro normalizado en función del ángulo de dispersión. (b) Resta de los espectros normalizados de agua y SiO_2 y el correspondiente para aire

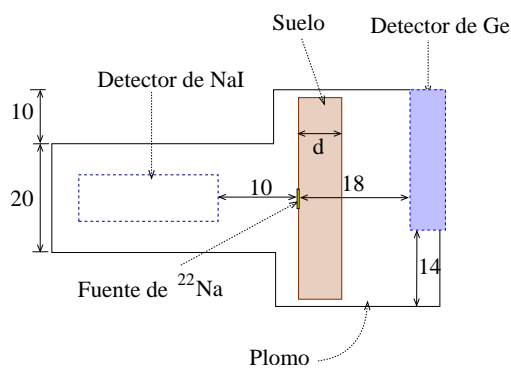


Figura 4. Esquema del montaje experimental. Las longitudes están en cm

atravesado el suelo. Normalizando el espectro de energías a la amplitud de la gaussiana, se estudió la dispersión en ángulos pequeños mediante dos métodos: En el primero, hallamos el número de fotones dispersados como función del ángulo de dispersión. En el segundo restamos del espectro de transmisión a través de arena el correspondiente a través de aire. El resultado del primer método (Fig. 3(a)) muestra una rápida disminución del número de cuentas al aumentar el ángulo de dispersión. El segundo método (Fig. 3(b)) muestra que a pesar de tal disminución de las cuentas, el efecto de las dispersiones en ángulos pequeños podría reflejarse en el espectro como un aumento de las cuentas a energías menores a la incidente. Al hacer las pruebas con agua en vez de SiO_2 , vemos que podríamos llegar a diferenciar materiales.

3. Resultados experimentales

El montaje experimental se muestra en la Fig. 4. Sobre una base de plomo se pone un detector de Yoduro de Sodio (NaI), uno de Germanio (Ge) y entre ellos una fuente de ^{22}Na . Esta fuente emite positrones que al aniquilarse producen dos rayos γ de 511 keV viajando

en direcciones opuestas. El número de fotones captados simultáneamente por los dos detectores equivaldrá a los fotones transmitidos a través del grosor de suelo d o dispersado en ángulos pequeños.

El suelo que usamos fue arena, esencialmente formada por silicatos. El coeficiente de atenuación medido para la arena fue $\mu = 0,131(3) \text{ cm}^{-1}$, el cual difiere en un 1.5% del reportado [4] para cuarzo (SiO_2). Esta diferencia es probablemente debida a otros componentes de la arena, tales como feldespato y magnetita. Para estudiar las dispersiones en ángulos pequeños tomamos los espectros de transmisión para diferentes grosores de arena y aplicamos las mismas técnicas que las usadas en la simulación. La Fig. 5(a) muestra que aunque el número de cuentas decrece a medida que aumenta el ángulo de dispersión este resultado difiere de la Fig. 3(a) para ángulos alrededor de 8° . Vemos además que a medida que aumenta el grosor de arena aumenta el número de cuentas. La Fig. 5(b) muestra el resultado del segundo método aplicado al espectro correspondiente a $d = 8 \text{ cm}$. Efectivamente el efecto de la arena es aumentar las cuentas en la región de energías menores a 511 keV, sin embargo este resultado difiere significativamente del obtenido mediante la simulación

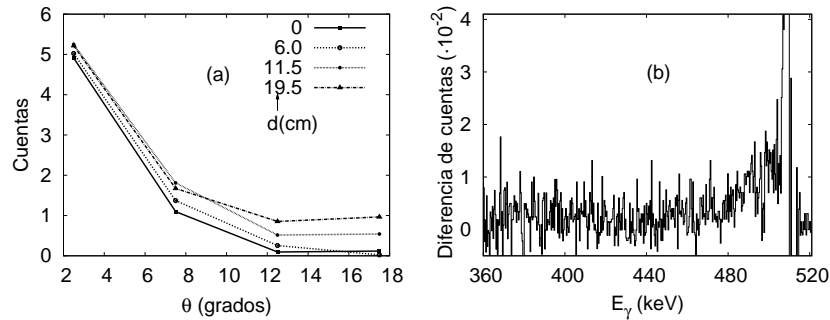


Figura 5. Resultados experimentales: (a) Número de cuentas en los espectros normalizados en función del ángulo de dispersión. (b) Resta entre el espectro normalizado de un grosor de arena d y el correspondiente para aire

(Fig. 3(b)). Tales diferencias pueden explicarse por dos razones principales: Primero, la simulación no incluye efectos como la electrónica o la influencia de radiación natural. Segundo, la baja estadística de los datos experimentales no permite un grado de precisión igual al de la simulación.

Conclusiones y perspectivas

A pesar de que el estudio de la interacción γ -suelo es muy complicada es posible hacer estimativos del número de fotones retrodispersados a partir de una aproximación analítica que muestra que la atenuación del haz en el suelo reduce en órdenes de magnitud la intensidad detectada. Simulaciones con Geant 4 mues-

tran que al poner suelo en el camino de los fotones, las dispersiones en ángulos pequeños se reflejan en un aumento del número de cuentas para energías entre 400 y 500 keV. Aunque los experimentos muestran este mismo resultado, es necesario refinar la simulación y mejorar la estadística del experimento para obtener un mayor acuerdo entre ellos.

Referencias

- [1] J. Gerl, Nucl. Phys. **A752**, 688c (2005)
- [2] G. Harding *et al.*, Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. A **398**, 409 (1997)
- [3] <http://geant4.web.cern.ch/geant4/>
- [4] <http://www.physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/Text/XCOM.html>