

OBTENCIÓN DE ESPECTROS GAMMA EN NAI(TL) POR EL MÉTODO DE MONTE CARLO

G. Díaz*, A. Puerta**, J. Morales**.

**Decanatura de Ciencias Básicas, Instituto Tecnológico Metropolitano*

***Grupo Física Radiológica, Escuela de Física*

Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

(Recibido 02 de Sep.2005; Aceptado 18 de Jul.2006; Publicado 04 de Oct. 2006)

RESUMEN

En este trabajo se simula una fuente radiactiva emisora de radiación gamma con energías en el rango de 0.030 a 3 MeV y se simula un detector cilíndrico de NaI (Tl) de 2x2" similar al sistema que posee el grupo de Física Radiológica de la UN – Sede Medellín y que se utiliza para medidas in vivo de tiroides. Se simularon los diferentes tipos de interacción en el recubrimiento de Aluminio de 0.5 mm y el cristal de NaI, teniendo en consideración los coeficientes para efecto fotoeléctrico, compton y producción de pares en los distintos medios. Se obtuvo en los espectros la región continua debido al compton y su corte, los picos de escape en el caso de producción de pares y el fotopico correspondiente, como se reporta teóricamente en la literatura y se reprodujo el espectro con la forma gaussiana, considerando este tipo de distribución para cada energía gamma emitida.

Palabras claves: Espectros Gamma, Monte Carlo, Algoritmos, Análisis Numérico, tiroides, efecto fotoeléctrico.

ABSTRACT

In this work a source radioactive of radiation gamma is simulated with energy in the range from 0.030 to 3 MeV and a cylindrical detector of NaI(Tl) of 2x2 is simulated, this is similar to the system that possesses the group of Radiological Physics of the U.N. - Sede Medellín and that it is used for in vivo measures of thyroid. The different interaction types were simulated in the overlap of Aluminum of 0.5 mm and the NaI(Tl) crystal, having in consideration the coefficients for photoelectric effect, compton effect and production of pairs in the different medium. It was obtained in the spectra the continuous region due to the compton and their court, the escape picks in the case of production of pairs and the corresponding photopeak, like it is reported theoretically in the literature and reproduced the spectrum with the form gaussian, considering this distribution type for each energy emitted gamma.

Keywords: Gamma Spectra, Monte Carlo, Algorithms, Numerical Analysis, thyroid, photoelectric effect.

1. Introducción

El principio de funcionamiento de un detector esta basado en la interacción de la radiación con la materia la cual esta representada en los coeficientes de interacción. De esta forma se puede determinar el espectro y la actividad de la fuente de radiación. Las interacciones de interés que pueden detectarse son la fotoeléctrica, la compton y la producción de pares. En la interacción fotoeléctrica el fotón incidente es absorbido por el material y se desprende un electrón que portará una energía cinética, que dependiendo del mecanismo interno del detector, es convertida

en un pulso eléctrico que es proporcional a la energía de los rayos gamma, representado en el espectro por una línea bien definida llamada fotopico, esto se indica en la figura No.1. por la raya A. En la interacción compton se libera un electrón y se genera un fotón de menor energía, sí el fotón dispersado continua su trayectoria en sucesivas interacciones en el detector, hasta que toda su energía sea absorbida en este, esta es contabilizada en el fotopico; en el caso que el fotón dispersado salga del detector, la energía puede variar entre cero y la energía de retrodispersión, generando un fondo compton, el cual tiene un punto de corte en una energía igual a la incidente menos del foton retrodispersado. La producción de pares puede ocurrir para fotones incidentes con energías superiores a 1.02 MeV, cuya probabilidad aumenta con la energía, en este caso se genera en la interacción un electrón y un positrón. La energía de estos dos será absorbida por el cristal, además tendrá lugar la aniquilación del positrón en la cual se emiten dos fotones de 0.511 MeV. En este caso puede suceder que un fotón escape y que el otro sea absorbido en el detector, dando lugar a un pico de escape simple que corresponde a una energía igual a la energía del foton incidente menos 0.511MeV.; puede suceder también que los dos fotones escapen del cristal dando como resultado un pico de doble escape que tiene una energía igual a la incidente menos 1.02 MeV, El pico de escape y doble escape vienen representado en la figura No.1. por los Rayas B y C respectivamente.

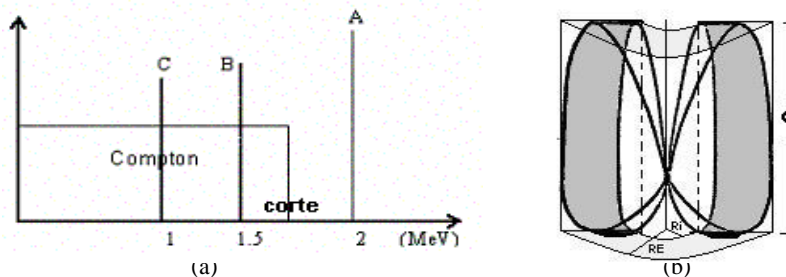


Figura No. 1. (a) Espectro teórico de un detector, (b) Tiroides por Mary Cristy

En este trabajo se reprodujo, por el método de Monte Carlo, el espectro teórico mediante un programa desarrollado en Fortran, haciendo uso de una plataforma Lahey-Fujitsu Fortran 95 v5.6, en el cual se simula una fuente, que puede tener varias formas geométricas y ha diferentes distancias del detector. En nuestro caso reportamos los espectros asumiendo una fuente uniformemente distribuida en la tiroides de adulto, emisora de radiación gamma, cuya descripción geométrica está descrita por el hombre antropomórfico desarrollado en el Laboratorio Nacional de Oak Ridge, por Mary Cristy[1], rodeada de tejido blando de 1.0 cm de espesor, que representa el cuello de un individuo. Se simuló como detector un cristal de NaI(Tl) de 2"x2" cuya ventana de entrada tiene 0.5 mm de Al. Se hizo uso de los coeficientes de interacción para los diferentes medios obtenidos a través del programa XCOM[2] y se consideraron fuentes emisoras de rayos gamma de diferentes energías. La simulación se realizó en esta forma para que sirviera de aplicación, particularmente en programas de detección de radionúclidos retenidos en esta glándula, provenientes de la incorporación por inhalación o ingestión y que hace parte de los métodos in vivo para dosimetría interna.

2. Simulación por Monte Carlo

2.1 Puntos fuente

Para reproducir los puntos fuente, se considera la tiroides uniformemente contaminada con materiales radiactivos emisores gamma monoenergéticos de diferentes energías, por esta razón todo punto dentro de esta glándula se considera un punto fuente. Así, la generación de puntos fuente se simula de manera aleatoria, como propone Puerta [3], en el cual la tiroides se encuentra inscrita en un casquete cilíndrico, Figura No. 2 de radios interior y exterior R_i y R_E cuyos valores para adulto son de 1.0 y 2.2 cm respectivamente, cuya altura C es de 5.0 cm. Cada punto fuente (x_o, y_o, z_o) se obtiene generando tres números aleatorios η_1 , η_2 y η_3 mediante las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} \alpha &= \pi\eta_1 \\ R &= R_E + (R_I - R_E)\eta_2 \\ x_o &= R \cos(\alpha) \\ y_o &= -R \sin(\alpha) \\ z_o &= C\eta_3 \end{aligned} \tag{1}$$

En donde z debe cumplir que

$$\begin{aligned} \tau &= \left(\frac{\sqrt{2}-2}{2} \right) \left(\frac{Z}{0.25C} \right) + 1 \quad \text{para } 0 \leq Z \leq 0.25C \\ \tau &= \left(\frac{\sqrt{2}-2}{2} \right) \left(\frac{Z}{0.75C} \right) + \frac{2\sqrt{2}-1}{3} \quad \text{para } 0.25C \leq Z \leq C \end{aligned} \tag{2}$$

2.2 Interacciones

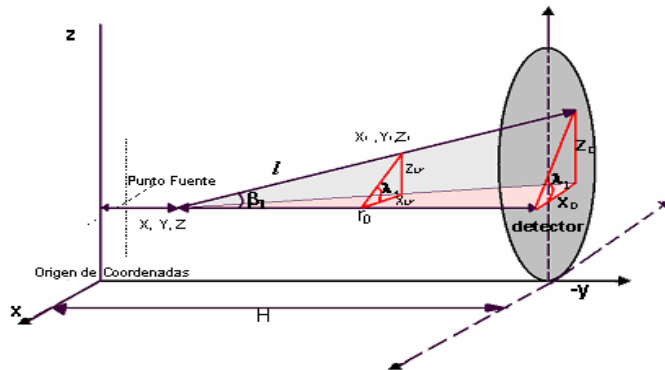


Figura No.2. Representación geométrica del ángulo sólido entre la tiroides y el detector.

El detector está ubicado a una distancia h con respecto al origen de coordenadas de la tiroides, sobre el eje y . La distancia que hay entre el punto fuente y el detector es r_o , figura No.2. Una vez determinado el punto fuente (x, y, z) , se calcula el camino libre medio, $l = \ln(\eta_3) / \mu_{max}$, donde η_3 y μ_{max} son un número aleatorio y el coeficiente total máximo de atenuación del medio, respectivamente. Luego se calcula la dirección en la que va el fotón con los cosenos directores y se determina si esta dirección intercepta el área de entrada del detector. Si esto

ocurre se pasa a analizar el medio en el que se encuentra el fotón y se determinan sus interacciones, en caso contrario se desecha éste y se genera un nuevo punto fuente. Después de conocer el medio en el cual se encuentra el fotón y luego de definir las nuevas coordenadas, (x_1, y_1, z_1) , se determina el tipo de interacción que puede ocurrir en dicho punto, el cual puede ser fotoeléctrica, compton o producción de pares. Para determinar el tipo de interacción se utiliza apropiadamente la técnica de rechazo [4]. La historia del fotón termina si su energía y su factor de peso esta por debajo de un valor predeterminado.

3. Conclusiones: Espectros reproducidos por el programa

En la siguientes graficas se pueden observar los espectros que se obtienen en la simulación teórica para diferentes energías. En la figura No. 3 (a) se puede observar un espectro para ^{131}I , para la energía del ^{137}Cs , y para una fuente de 2 MeV. En estas se observan con claridad el fotopico, el fondo compton y los picos de escape de la producción de pares, estos espectros se compara con el espectro teórico que reporta la bibliografía[5]. En la figura No. 3 (b) se puede observar una forma mas real del espectro que muestra un detector típico de NaI(Tl), en el cual se muestran los picos con su forma gaussiana.

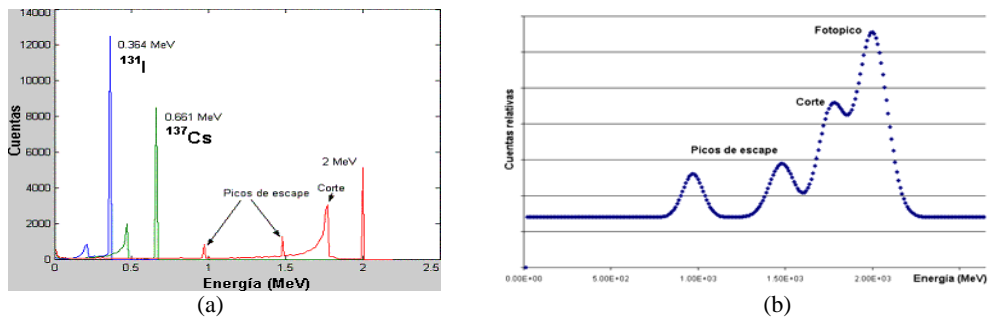


Figura No. 3 (a) Espectro ideal simulado, (b) Espectro considerando respuesta real del detector.

Acknowledgements: The authors would like to thank DIME of de National University from Colombia – Sede Medellín, for his support.

Referencias

- [1] Cristy M., Mathematical Phantoms Representing Children of various Ages for uses in Estimates On Internal Dose, NUREG/CR-1159 ORNL, 1980.
- [2] http://physics.nist.gov/cgi-bin/Xcom/xcom3_3. XCOM. M.J. Berger, J.H. Hubbell, S.M. Seltzer, J. S. Coursey, and D. S. Zucker. Physics Laboratory, Office of Electronic Commerce in Scientific and Engineering Data© 1990, 1998 copyright by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America. All rights reserved. NIST reserves the right to charge for these data in the future.
- [3] Puerta A., Chica L. G., Generación de puntos dentro de la tiroides y cálculo de su volumen por el método de Monte Carlo. Revista Colombiana de Física. Published by Sociedad Colombiana de Física, Vol 25, (1993 41-50).
- [4] Koblinger, L. A Review of Monte Carlo Techniques Used in Various Fields OF Radiation Protection, Central Research Institute for Physics, KFKI-1987 -39/k, Budapest.
- [5] Tanarro Sanz A., Instrumentacion nuclear, Servicios de publicaciones de la J.E.N., Madrid, 1970.