

Espectroscopía gamma. Caracterización de fuentes radiactivas y calibración de un centellador de NaI

Octavio Cabrera, Sebastián Arroyo, Omar Espindola, Andrés Chacoma.

Instituto Balseiro

25 de Febrero de 2012

Utilizando la técnica de espectroscopia γ , se caracterizaron fuentes radiactivas de ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{133}Ba , una muestra de sal KCl y el fondo de radiación natural. En el caso del ^{60}Co se verificó la variación del espectro con la distancia de la muestra respecto del detector. Para ^{137}Cs se colocó un ladrillo de Pb en uno de sus lados y se observó un aumento del pico de backscatter, y la aparición de otro pico producto de un doble backscatter. Se caracterizó el contenido de una muestra X, usando las fuentes conocidas.

I. Introducción

La espectroscopia gamma es un método experimental utilizado para determinar la energía de radiación gamma de una determinada fuente radioactiva. La mayoría de las fuentes radioactivas emiten rayos gammas de energías características del núcleo de la fuente. La espectroscopia gamma se puede utilizar para determinar la identidad del núcleo medido.

Este tipo de radiación se caracteriza por no tener carga y la detección de esta se basa en la interacción de los fotones con el material del detector, estos depositan su energía en el material dando lugar a tres mecanismos básicos de transferencia de energía, efecto fotoeléctrico, Compton y creación de pares.

El efecto fotoeléctrico es en este caso producido inicialmente por un fotón que incide sobre la superficie de un material (parte del detector) dando lugar a la emisión de un electrón. Es importante destacar que los electrones al ser emitidos desde la superficie del material salen con una energía cinética[1]:

$$E = hf - w, \quad (1)$$

donde w es la función trabajo y representa la energía necesaria para arrancar un electrón de la superficie de material. Ésta depende únicamente del material.

El efecto Compton se basa en la colisión de un fotón con un electrón libre del material, dando lugar a una dispersión de la radiación electromagnética y a un aumento de la longitud de onda de ésta. La nueva

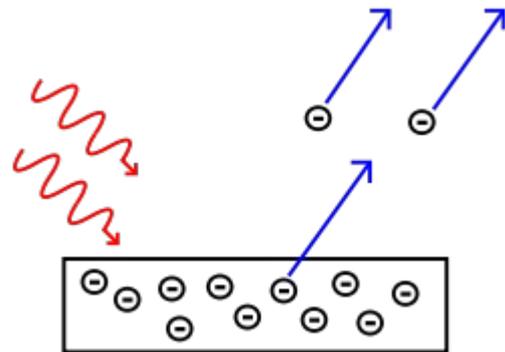


Figura 1 Fotón incide sobre la superficie de una material dando lugar a la emisión de un electrón.

longitud de onda está específicamente determinada por la dirección de dispersión de la onda electromagnética. Se puede demostrar que la variación de la longitud de onda verifica:

$$\Delta \lambda = h(1 - \cos \theta) / m_e c, \quad (2)$$

donde h es la constante de Planck, m_e es la masa del electrón, c es la velocidad de la luz y θ es el ángulo entre los fotones incidentes y dispersados.

Finalmente la creación de pares es el proceso por el cual una partícula crea dos o mas partículas diferentes mediante una colisión. En esta experiencia fue tomada en cuenta la creación de un positrón y un electrón mediante la colisión de un fotón con algún núcleo presente en el material del detector, ésta reacción es $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$. En ella, el fotón, para poder crear las partículas, deberá tener como mini -

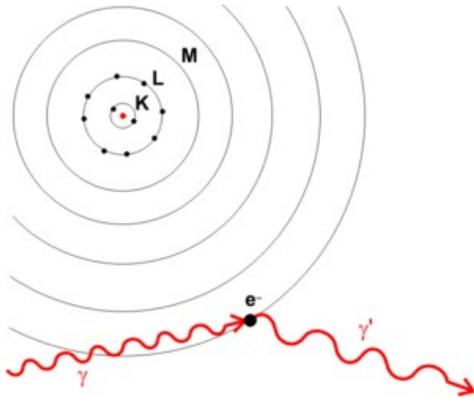


Figura 2 Un fotón γ incide contra el electrón libre de un átomo provocando una dispersión y disminución de energía dando lugar al nuevo fotón γ' .

mo una energía igual a la masa del electrón mas la del positrón.

Dicho lo anterior podemos describir como se observa cada tipo de interacción en un espectro radiación, este es una gráfica de dN/dE vs E .

En el efecto fotoeléctrico se absorbe toda la energía del rayo gamma, produciendo foto electrones, luego esto produce un pico en el espectro y éste corresponde a la energía del gamma que incide en el detector. Esto se muestra en la Figura 4. En la interacción Compton, el gamma no es absorbido y el electrón se lleva parte de la energía, por lo tanto, la radiación deposita una proporción de la energía en el detector y esto da lugar en el espectro a una gran zona frente al pico foto óptico explicado anteriormente. Esta puede entenderse observando la ecuación 2, donde se ve como la energía del fotón dispersado en el efecto Compton depende de la dirección del fotón emitido por la fuente, dando lugar a fotones dispersados de diferentes energías.

Finalmente el fenómeno de creación de pares se observa en el espectro como un pico de menor energía que el rayo gama incidente. Otro fenómeno interesante es el de backscattering, en el cual la radiación interacciona con otros elementos antes de ser detectados, produciendo picos de menor energía .

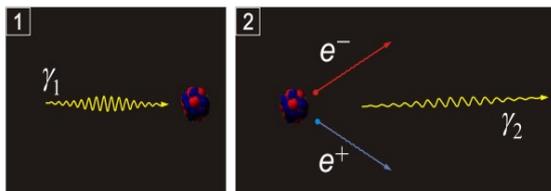


Figura 3 Fotón γ_1 colisiona contra el núcleo de un átomo dando lugar a 2 partículas nuevas y un fotón γ_2 de menor energía.

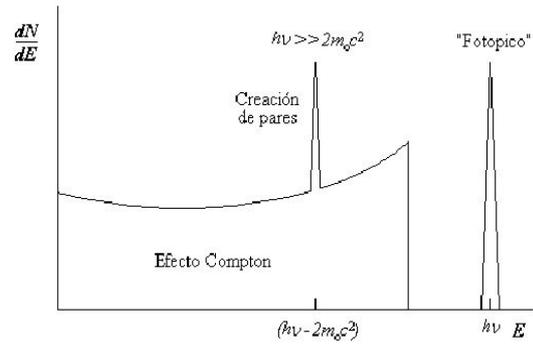


Figura 4 Espectro de emisión gamma. Se observan aquí los tres mecanismos de interacción del fotón gamma con el material del detector.

Esto puede darse en una típica medición cuando se agregan ladrillos de plomo para evitar la radiación en determinadas direcciones. En estos ladrillos de plomo puede ocurrir que se de el fenómeno de interacción Compton o la creación de pares, cualquiera de estos puede dar lugar al fenómeno nombrado de backscattering.

II. Método experimental

Es común en el estudio de espectroscopia gamma utilizar detectores de centelleo. Estos detectores convierten la energía de radiación en luz que puede ser detectada por un foto multiplicador (PMT), que es un detector de luz ultrasensible. Para esta practica se utilizo un centellador inorgánico de NaI, cuya conversión es lineal a partir de los 100 KeV.

Los módulos que componen el PMT se muestran en la figura 5. El foto cátodo convierte la señal lumínica en electrones de baja energía mediante procesos de efecto fotoeléctrico y emisión secundaria. Los electrones así generados son acelerados por un campo eléctrico hacia el primer dínodo. El choque contra este genera otra serie de electrones, estos de energía menor, que son nuevamente acelerados hacia los siguientes dínodos repitiendo el ciclo. El último dínodo es llamado ánodo. La tensión de aceleración entre dínodos será la tensión de polarización del PMT dividida por la cantidad de dínodos.

El dispositivo experimental utilizado se muestra en la figura 6. La radiación gamma incide en el centellador, este emite luz en el rango visible y UV que es detectada por el PMT, la señal de salida es

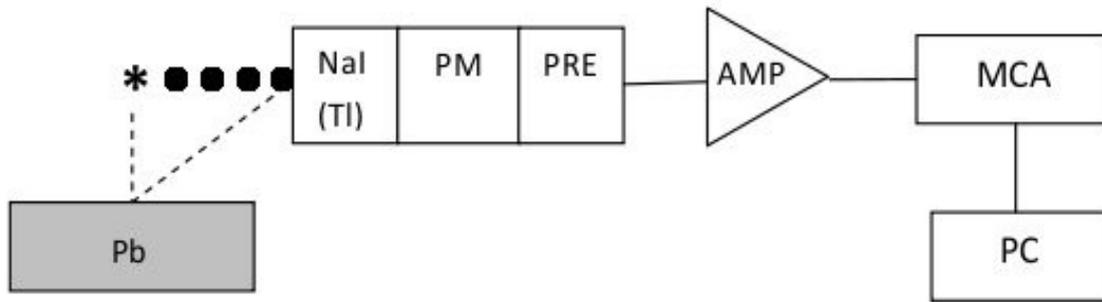


Figura 5 Arreglo Experimental. El esquema representa, un PMT con un preamplificador y acondicionador de señal interno al detector. Un amplificador a la salida de este. Un MCA (multicanal). La salida de este se encuentra conectado a una PC. El esquema también cuenta con una barra de Pb (plomo) opcional.

amplificada en forma lineal e ingresa en el multicanal (MC) para ser analizada. Éste hace un histograma de intensidad de las señales recibidas.

Si el gamma deposita toda su energía en el centellador, dado que la altura de la señal es proporcional a la luz incidente, los canales del MC se corresponden de manera proporcional con la energía incidente.

Cuando la radiación interactúa con el centellador se puede producir efecto fotoeléctrico, Compton, y/o creación de pares. Si ocurre el primero, toda la energía del gamma es transmitida al foto electrón que se frena dentro del material excitando átomos que luego decaen emitiendo fotones que son detectados por el PMT. Si se produce efecto Compton pueden ocurrir dos cosas: 1) que el gamma producto produzca efecto fotoeléctrico en el centellador, y de esta manera toda la energía se deposite en éste; 2) el gamma producto no interactúe dentro del centellador, con lo cual la energía depositada será la energía del gamma menos la que se lleva el gamma Compton (Egc)[2].

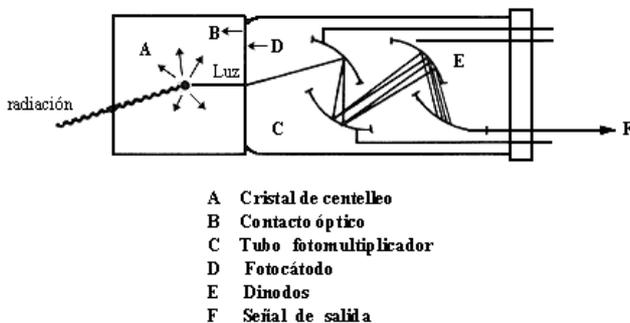


Figura 6 Detector PMT. Centellador y foto multiplicador.

En general si la $E_\gamma \sim 1\text{Mev}$, puede producirse creación de pares. El electrón y el positrón resultantes transfieren su energía al detector. El electrón se aniquila con el positrón resultando en dos gamma de 511 KeV. Si este fenómeno es significativo, se observará en el espectro dos picos correspondientes a los casos en los que ambos o uno de los gamma de la aniquilación se escapan del cristal. Estos picos adicionales son conocidos como escape doble y escape simple.

A. Mediciones

Cuando se acerca una fuente radioactiva al centellador, se obtiene entonces con la ayuda del PMT un voltaje de salida que es proporcional a la energía de los rayos gamma que están emitiendo la muestra. Con el MC desde el PMT a una PC, se puede contar la cantidad de veces que se midió un rango de valores de voltaje, que son canales en el MC. Es decir, podemos realizar un histograma de las energías de los rayos que incidieron sobre el centellador.

Para poder analizar el histograma de energía propiamente dicho, y no de las diferencia de potencial a la salida el PMT, hay que encontrar la relación entre la energía del gamma incidente y el voltaje de salida. Esto se logra midiendo muestras radioactivas que ya se encuentran caracterizadas, es decir, se conocen las energías con las cuales emiten sus rayos. Luego, observando en el histograma en que canal se encuentran los picos de energía medidos, y realizando esta operación con varias muestras, se puede obtener una curva de calibración de canal versus energía.

Esta calibración se realizó con ^{137}Cs , ^{40}K , ^{241}Am , ^{60}Co y ^{22}Na . Con ésta, se intentó determinar de que material estaba conformado una muestra desconocida a partir de la energía de emisión de gamma del mismo. Del mismo modo se estudio la radiación natural de fondo.

III. Resultados y Discusión

En la figura 7 se muestra un gráfico del conteo (normalizado por el tiempo total) versus el canal (ADC) para las distintas fuentes estudiadas.

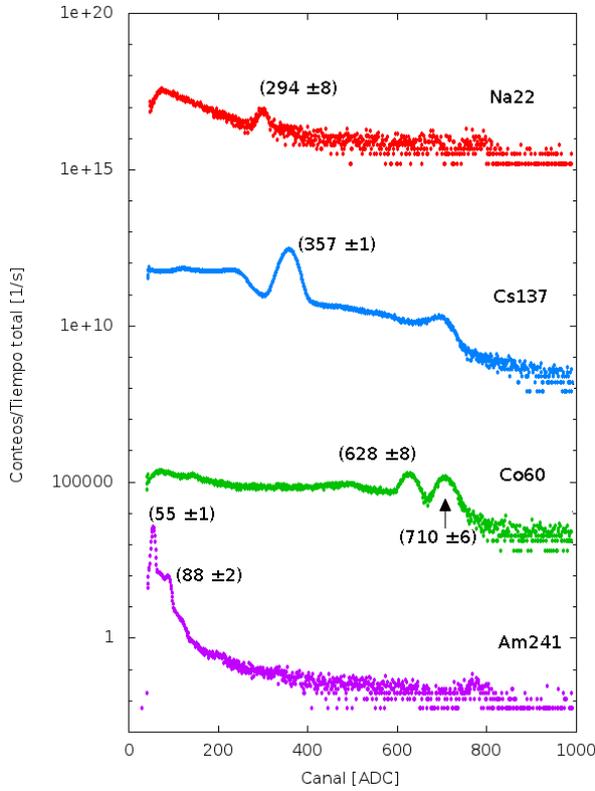


Figura 7 Conteo versus canal para las distintas fuentes radiativas.

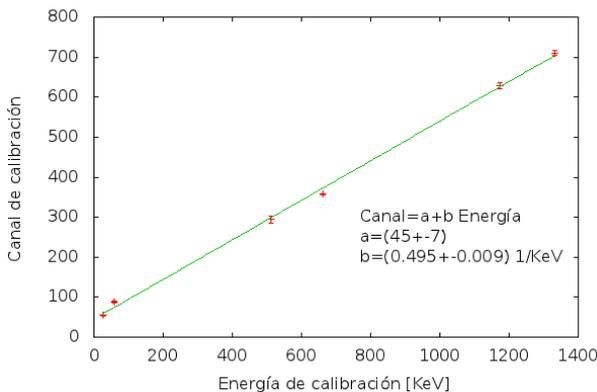


Figura 8 Recta de calibración correspondiente a la relación canal - Energía.

Utilizando las curvas de la figura 7, y conociendo la energía asociada a cada máximo de intensidad[3], se calibró el sistema de mediciones, estableciendo la relación entre canal y energía que se muestra en la

figura 8. Las mediciones del ^{60}Co fueron sometidas a dos configuraciones distintas. Una primer medición fue colocando la muestra pegada al detector, y la segunda fue alejándola (5 ± 1)cm del mismo. Se verificó una disminución en la intensidad de $\sim 80\%$, éste hecho se muestra en la figura 9.

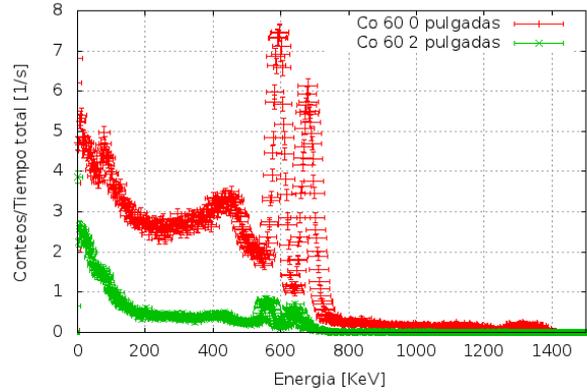


Figura 9 Energía asociada al ^{60}Co para la muestra colocada pegada al detector (rojo), y a (5 ± 1)cm del mismo (verde).

Los dos picos corresponden los fotones emitidos por la desexcitación sucesiva de dos estados del átomo hijo de Co, el Ni.

A la muestra de ^{137}Cs se le colocó, en una segunda instancia, un ladrillo de plomo sobre el costado de la misma con la intención de analizar el fenómeno del backscatter. En la figura 10 se muestra la energía asociada a esta muestra con y sin el ladrillo. Se observa un aumento de intensidad en toda la curva, y la aparición de un pico asociado al backscatter en $\sim 50\text{KeV}$.

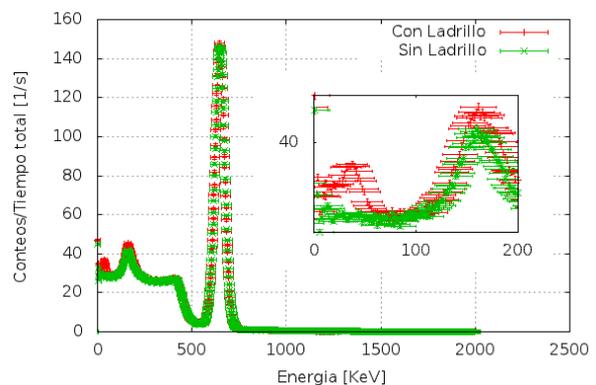


Figura 10 Energía del ^{137}Cs , con y sin ladrillo de plomo. En el recuadro se observa con detalle la aparición del pico asociado al fenómeno del backscatter.

Es posible que al colocar el ladrillo de plomo aumenta el conteo de backscattering del ambiente en general (pico de la derecha) y además aparece un pico de doble backscattering asociada a las buenas

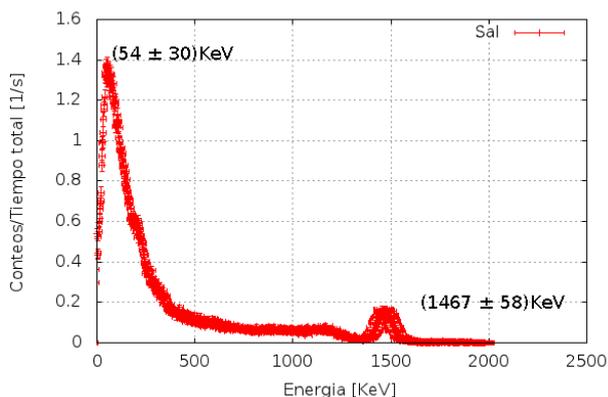


Figura 11 Espectro de energía del Kcl.

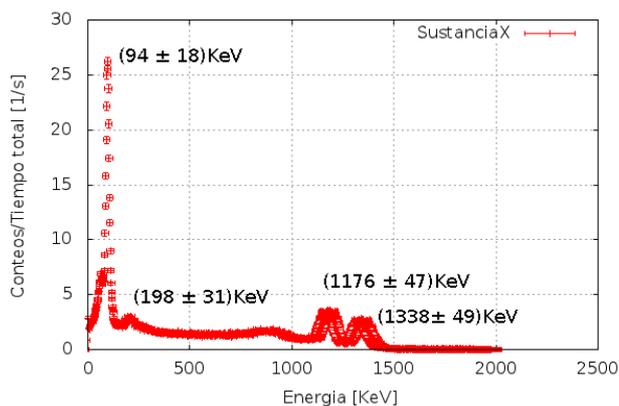


Figura 13 espectro de energía de la sustancia X.

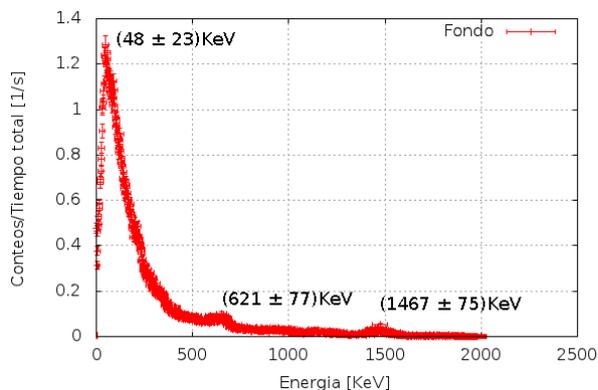


Figura 12 Espectro de energía de la radiación natural de fondo.

características del plomo para que se dé este fenómeno (pico de la izquierda).

El espectro de la muestra de KCl (sal de mesa enriquecida en K), y la radiación de fondo natural se muestra en la figura 11 y 12. Se observa la aparición de un pico alrededor de 1470 KeV en los dos casos.

El espectro de la sal de mesa muestra un pico que corresponde al decaimiento de ^{40}K (1467 KeV), uno de los isótopos de K. La radiación de fondo muestra también un pico de ^{40}K , además está el ^{137}Cs .

Por último se realizó una medición a una muestra cuyo compuesto era desconocido (sustancia X), el espectro de energía de la misma puede verse en la figura 13. Pueden identificarse el par de picos de ^{60}Co (1176 y 1338 KeV) y además picos en 94 y 198 KeV que corresponden a.

IV. Conclusión

Se realizó una calibración de un espectómetro gamma utilizando diferentes muestras radioactivas

caracterizadas previamente. Se utilizó el sistema experimental para identificar elementos radiactivos en el ambiente, en sal de mesa y en una muestra desconocida.

Se observó la dependencia de los espectros obtenidos con la distancia entre centellador y muestra, así como también la importancia de la presencia de elementos para blindaje en las mediciones.

[1] Walter E. Meyerhof, Elements of nuclear physics, McGraw-Hill, 1967.

[2] John Lilley, Nuclear Physics principles and applications, John Wiley & Sons, Ltd, 2001.

[3] National Nuclear Data Center, <http://www.nndc.bnl.gov>.