

# Espectroscopía gamma mediante la utilización de un centellador de NaI(Tl)

Daniel Bellot, Arturo Collado, Franco Pasian, Javier Portillo, Federico Turco  
*Instituto Balseiro, Comisión Nacional de Energía Atómica, (8400) Bariloche, Argentina*  
 (Dated: 25 de marzo de 2015)

Mediante la utilización de un detector fototubo con centellador de Na(Tl), se midió el espectro de radiación gamma de distintos elementos, y se determinaron los elementos radiactivos existentes en los mismos. Se encontró la presencia de  $^{40}K$  en la sal light, así mismo se encontró  $^{232}Th$ ,  $^{212}Pb$ ,  $^{228}Ac$  y  $^{208}Tl$  en la camisa sol de noche. Se estudió el  $^{235}U$  y se determinó la existencia de  $^{231}Th$  además del mismo  $^{235}U$ .

## I. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la interacción de la radiación con la materia es de gran importancia. Dichos conocimientos son de gran valor, no sólo como aporte en ciencia básica, sino también por la gran cantidad de aplicaciones, las cuales abarcan una gran diversidad de temas, desde tratamiento de diversas enfermedades, hasta protección de dispositivos espaciales. Un tipo de radiación de gran interés es la radiación gamma, compuesta por fotones de alta energía (algunos MeV). Su interacción con la materia se da a través de 3 fenómenos: Efecto fotoeléctrico, efecto Compton y creación de pares. El efecto fotoeléctrico es un tipo de interacción entre un fotón  $\gamma$  y un electrón ligado. Si el fotón tiene una energía mayor que la energía de ligadura, es decir  $h\nu > E_{lig}$ , este será completamente absorbido. El electrón, por su parte, será emitido con una energía correspondiente a  $E_e = h\nu - E_{lig}$ . Un esquema de este proceso puede verse en la figura 1. Teniendo en cuenta que las energías de ligadura son del orden de los eV se cumple que  $h\nu \gg E_{lig}$ , por lo que la energía de ligadura puede aproximarse según  $E_{e-} \simeq h\nu$ .

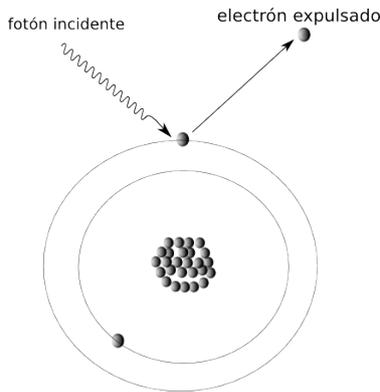


Figura 1. Esquema del efecto fotoeléctrico, el fotón incidente es totalmente absorbido por un electrón ligado.

El efecto Compton es un tipo de dispersión en la cual un fotón  $\gamma$  colisiona con un electrón y es dispersado un cierto ángulo  $\theta$ . Parte de la energía del fotón incidente se transforma en energía cinética del electrón, mientras que el fotón dispersado se lleva la energía restante. Planteando la conservación de impulso y energía se puede llegar a [1] :

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_0c^2}(1 - \cos(\theta))} \quad (1)$$

donde  $h\nu'$  es la energía del fotón dispersado y  $\alpha = \frac{h\nu}{m_0c^2}$  es el cociente entre la energía del fotón incidente y la energía en reposo del electrón. En base a esto podemos llegar a una expresión para la energía del electrón [2] :

$$E_{e-} = \frac{2h\nu\alpha}{1 + 2\alpha + (1 + \alpha)^2 \tan^2\phi} \quad (2)$$

La energía máxima que puede ser transferida al electrón va a estar dada por [2]:

$$E_{e-(max)} = \frac{2h\nu\alpha}{1 + 2\alpha} \quad (3)$$

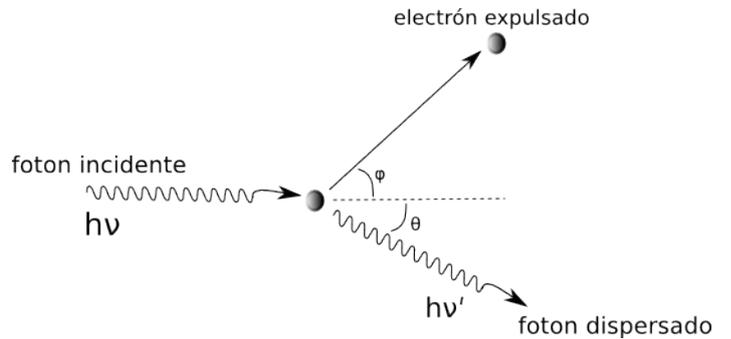


Figura 2. Esquema del efecto Compton, el fotón incidente es deflecionado por un electrón

Por último, la creación de pares consiste, como su nombre lo indica, en la creación de un par electrón-positrón a partir de un fotón  $\gamma$ . Para que este proceso sea energéticamente posible, la energía del rayo incidente debe ser mayor a dos veces la energía de la masa en reposo del electrón ( $1,02MeV$ ). Si existe un exceso de energía del fotón " $\gamma$ " respecto a este valor mínimo, esta se distribuirá en energía cinética de las partículas creadas.

En el presente trabajo tenemos como objetivo la medición de los espectros de radiación de diversas muestras cuyas composiciones son desconocidas. Se tratará de identificar los posibles isótopos correspondientes a los diferentes picos observados. También nos familiarizaremos con los diferentes instrumentos de medición y el programa de adquisición de datos MAESTRO.

## II. MÉTODO EXPERIMENTAL

Para la detección de la radiación  $\gamma$  se utilizó un fototubo. Este consiste en un centellador de Yoduro de Sodio dopado con Talio (NaI(Tl)) junto con un fotomultiplicador, como se muestra en la figura 3.

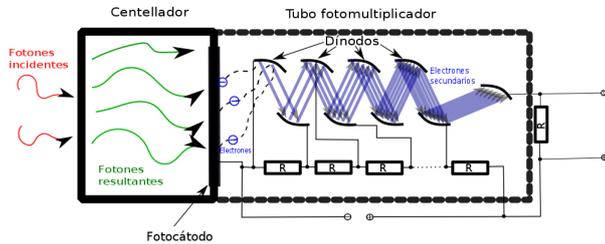


Figura 3. Detector de radiación gamma denominado fototubo. Consiste en un centellador y un fotomultiplicador.

La función del centellador es generar un mayor número de fotones a partir de los fotones incidentes. Esto se logra dado que al incidir radiación sobre el material (NaI(Tl)) excita a los electrones de valencia, que en el proceso de desexcitación se emiten más fotones que los incidentes y de menor energía.

Los fotones generados en el centellador inciden en el fotocátodo que por efecto fotoeléctrico se producen electrones. La cantidad de electrones emitidos es proporcional a la cantidad de fotones incidentes. La cadena de dinodos en el fotomultiplicador permite amplificar el número de electrones y obtener una corriente eléctrica proporcional a la energía de radiación.

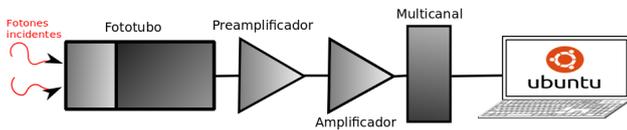


Figura 4. Esquema del sistema de adquisición. El fototubo es conectado a un pre amplificador y un amplificador que reparte la señal en pulsos. El multicanal entrega la señal procesada a la computadora.

El fototubo se encuentra conectado a un pre amplificador el cual amplifica la señal siendo la intensidad de salida proporcional a la energía incidente. Luego de esto un amplificador integra la señal y se genera una señal digital la cual es entregada a un multicanal (fig. 4). El multicanal reparte la señal a distintos canales dependiendo de la altura de los pulsos digitales. Siendo número del canal de salida proporcional a la energía de la radiación. La cantidad de pulsos se denomina *número de cuentas*. Esta información digital es entregada a una computadora para la adquisición de los datos con un programa llamado MAESTRO.

En la figura 5 se muestra un espectro típico de radiación producido por una fuente de rayos  $\gamma$ . En ésta se presenta el número de cuentas en función del número del canal. Se observa un pico denominado *fotopico*, el

cual está ubicado en el canal correspondiente a la energía de los fotones  $\gamma$  emitidos por la fuente. El detector almacenará una cuenta en ese canal siempre y cuando el fotón que llegue al centellador deposite toda su energía en él; esto ocurrirá siempre que se produzca efecto fotoeléctrico. Por otra parte puede resultar que el fotón no deposite toda su energía, esto ocurrirá siempre que se produzca efecto Compton. Las energías depositadas por efecto Compton varían de un valor mínimo ubicado en el *pico de Backscattering* a un valor máximo ubicado en el *codo Compton* (fig. 5) de manera continua. También puede ocurrir que un mismo fotón produzca varias veces efecto Compton (Compton múltiple) pudiéndose depositar mayor energía que la indicada en el *codo Compton*.

Por último existen algunos efectos como ser ruido térmico o posibles reacciones que se produzcan en materiales cercanos al detector que pueden producir fotones de rayos X (fig. 5) al interactuar con los  $\gamma$  de la fuente.

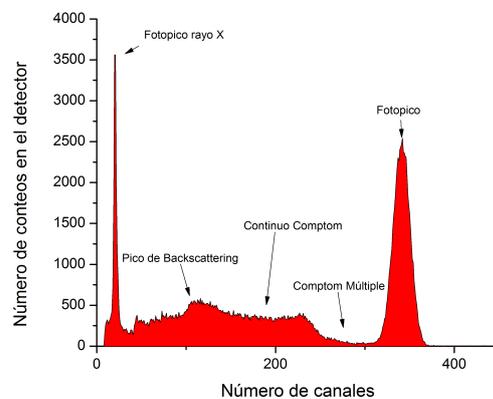


Figura 5. Espectro típico de radiación obtenido mediante el sistema de adquisición.

Para la calibración del sistema de adquisición se utilizaron distintas fuentes de radiación  $\gamma$  de energías conocidas, siendo estas  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  y  $^{133}\text{Ba}$ . Las fuentes radiactivas fueron ubicadas frente al detector durante un tiempo de 300 segundos por cada fuente.

Una vez calibrado el sistema de adquisición se procedió a medir la radiación del ambiente durante 300 segundos y restar este valor a los datos obtenidos para las distintas muestras. Teniendo estos valores se midió la radiación emitida por distintas muestras durante 300 segundos. Las muestras utilizadas fueron un paquete KCl (sal de mesa light), una muestra de  $^{235}\text{U}$ ,  $\text{UO}_2$  dióxido de uranio, arena adquirida de arena de Brasil, una camisa de sol de noche, y un trozo de madera preciosa.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 7 se observan los espectros de radiación correspondientes a 4 muestras de distinto tipo. No se observan diferencias respecto a las dos muestras de arena, lo cual indica que tiene la misma composición, al menos

en cuanto a los componentes radioactivos. Se identificó en los diferentes espectros los principales picos, a los cuales se les asignó una determinada energía, la cual fue comparada con la energía correspondiente a elementos radioactivos [3]. En la tabla 1 pueden observarse las energías obtenidas y los elementos que se corresponden con estas.

En varias de las muestras no se conocía que elementos radioactivos podían llegar a encontrarse. También debe tenerse en cuenta que la energía correspondiente a cada pico fue determinada con un error considerable. Esto produjo que muchos de los picos encontrados, no pudieran ser asociados a ningún elemento radiactivo.

Para la camisa sol de noche, uno de los picos identificados se corresponde con el  $Th-232$ , por lo que se utilizó la cadena de decaimiento del Torio para lograr identificar los picos restantes.

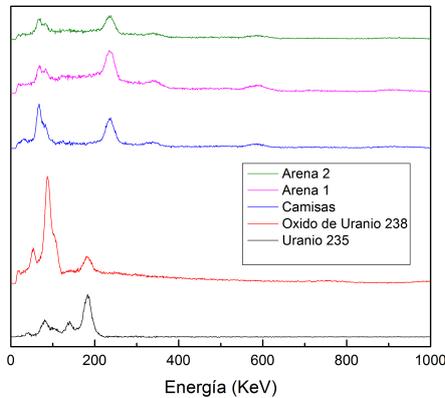


Figura 6. Espectro de radiación (en orden ascendente) para muestras de Uranio 235, Dioxido de Uranio natural, camisas de sol de noche, 2 muestras de arena recolectada en Brasil.

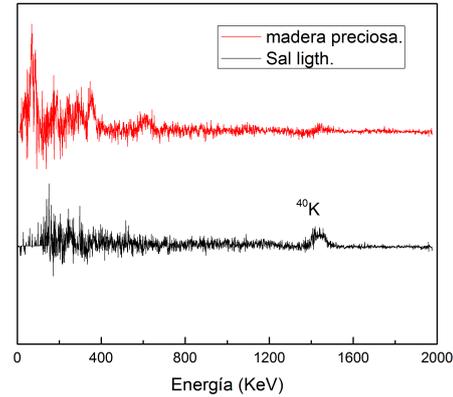


Figura 7. Espectro de radiación para muestras de sal light y madera preciosa, para esta última no se pudo detectar ningún pico.

Muestra	Energia pico (KeV)	Elementos posibles
Uranio 235	$84 \pm 3$	th-231
	$140 \pm 3$	U-235
	$182 \pm 3$	U-235
Dioxido de Uranio	$54 \pm 3$	-
	$86 \pm 3$	-
	$182 \pm 3$	-
Camisa	$69 \pm 3$	Th-232
	$235 \pm 3$	Pb-212
	$340 \pm 3$	Ac-228
	$592 \pm 3$	Tl-208
	$911 \pm 3$	Ac-228
Arena	$69 \pm 3$	-
	$236 \pm 3$	pb-212
	$325 \pm 3$	-
	$588 \pm 3$	-
Sal light	$1460 \pm 3$	K-40

Tabla I. Valores de energía obtenidos de los espectros para las distintas muestras medidas.

#### IV. CONCLUSIONES

Se calibró el detector centellador mediante las mediciones de muestras conocidas. Se estudiaron y graficaron los espectros de radiación de diferentes materiales, entre ellos las llamadas camisas de sol de noche. Para estas últimas se logró identificar los isótopos que se corresponden a las energías de los gammas observados. En el caso de la sal light se observó la presencia del isótopo K-40.

[1] Rodrigo Bonazzola, Mauricio Montellano Durán, Hernán Saraceni, Alberto Villagrán, "Espectroscopía gamma utilizando un centellador de NaI", Instituto Balseiro - Uni-

versidad de Cuyo. Páginas 1-2.

[2] Di Paolo Agustín, Fabre Ignacio, Mangussi Franco, y Sesin Pablo Ezequiel, "Espectroscopía Gamma de baja re-

solución utilizando un centellador de NaI(Tl)", Instituto Balseiro - Universidad de Cuyo. Páginas 1-2.

[3] <http://ie.lbl.gov/decay.html>

## Apéndice A: Exposición a la radiación durante el experimento.

A fin de tener una perspectiva sobre los efectos en la salud causados por la exposición a la radiación durante el experimento, se realizó un cálculo de la dosis de radiación absorbida.

### 1. Criterio para el cálculo de la dosis.

Se define *dosis absorbida* como "el valor esperado de la energía impartida a la materia por unidad de masa".

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (\text{A1})$$

Para obtener la energía es necesario considerar el flujo de las fuentes que se usaron. En el caso especial de una fuente monoenergética, la expresión para el flujo por unidad de área es:

$$\Phi_E = E \frac{dN}{da} \quad (\text{A2})$$

Donde  $N$  es el número de fotones que atraviesan el elemento de área  $da$ , siendo  $E$  la energía de cada fotón. Para un determinado medio, de densidad  $\rho$  y coeficiente de atenuación lineal  $\mu$ , la relación entre la dosis absorbida y el flujo de energía es:

$$D = \Phi_E \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_E \quad (\text{A3})$$

La cantidad  $\left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)$  es llamada coeficiente másico de absorción energética, y determina la cantidad de energía

que se transfiere al medio por parte de la radiación de energía  $E$ . Para estimar la dosis en función del tiempo de exposición es necesario conocer la variación temporal del flujo energético.

$$\frac{d\Phi_E}{dt} = E \frac{dN}{da dt} \quad (\text{A4})$$

pero  $\frac{dN}{dt}$  es la actividad de la fuente con energía  $E$ , de modo que la variación temporal de la dosis por unidad de área es, asumiendo una fuente puntual e isotrópica a una distancia  $r$ :

$$\frac{d}{dt} D = E \frac{A_E}{4\pi r^2} \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_E \quad (\text{A5})$$

### 2. Estimación de la dosis absorbida.

Usando la fórmula anteriormente expuesta es posible calcular la dosis por unidad de área sobre un determinado material en un determinado intervalo temporal debido a una fuente monoenergética de actividad  $A_E$ . Es necesario mencionar que no todos los isótopos radioactivos usados en el experimento se pueden considerar fuentes monoenergéticas, ya que poseen más de un pico de energía, por otra parte, la actividad de referencia para las fuentes usadas en el laboratorio no discrimina las contribuciones debidas a energías diferentes. Para realizar un cálculo exacto de la dosis recibida, además de tener la actividad de cada pico de energía, sería necesario tener el coeficiente  $\left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)$  específico para cada tejido vivo y cada energía emitida. Los dosis presentadas a continuación son estimaciones que usan el coeficiente de absorción del agua en lugar de los tejidos vivos, se usan los valores disponibles en tablas más aproximados a las energías usadas para el cálculo.