#### Detección de radiación $\gamma$

CAPIGLIONI, MILENA; LAMPERTI, CATERINA; MARTÍNEZ, EMANUEL; VALDÉS, DANIELA PAOLA

Introducción a la Física de Partículas y Nuclear, Instituto Balseiro

Marzo de 2017

## I. Introducción

El decaimiento  $\gamma$  es un fenómeno que resulta de gran interés por sus aplicaciones en ciencia y medicina. Éste consiste en la emisión de fotones de alta energía (cientos de keV a decenas de MeV) generados por el decaimiento de un núcleo excitado.

Existen tres formas de interacción de los fotones  $\gamma$  con la materia: el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton y la creación de pares<sup>[1]</sup>.

El efecto fotoeléctrico consiste en la interacción de un fotón  $\gamma$  con un electrón ligado a un material. Si dicho fotón posee una energía  $h\nu$  mayor a la de ligadura del electrón  $E_b$ , éste se desprende del átomo con una energía  $E_e = h\nu - E_b$ .

El efecto Compton se produce entre un fotón  $\gamma$  y un electrón libre. Consiste en una colisión elástica donde parte de la energía  $E_{\gamma}$  del fotón se transmite al electrón en forma de energía cinética. La energía del fotón dispersado es

$$E_{\gamma'} = \frac{E_{\gamma}}{1 - \frac{E_{\gamma}}{m_e c^2} (1 - \cos\theta)} \tag{1}$$

donde  $m_e$  es la masa del electrón, c es la velocidad de la luz y  $\theta$  el ángulo de dispersión del fotón.

La creación de pares es producto de la interacción entre un fotón  $\gamma$  con energía mayor a 1022 keV y un núcleo. Tras la interacción, el  $\gamma$  da lugar a un par positrónelectrón. Cuando el positrón colisiona con un electrón, éstos se aniquilan emitiendo dos fotones  $\gamma$  de 511 keV en direcciones opuestas.

### II. Método experimental

Para este trabajo se utilizó una configuración experimental como la que se muestra en la Fig. 1. Ésta consiste en un cristal centellador de NaI(Tl) cuya función es entregar fotones en el espectro visible a partir de los fotones  $\gamma$  que inciden en él. La intensidad de luz producida es proporcional a la energía del fotón  $\gamma$  incidente. Los fotones salientes del cristal llegan a un fotocátodo que, por efecto fotoeléctrico, libera un número de electrones proporcional a la cantidad de luz recibida. Esta señal es amplificada mediante un fotomultiplicador y luego de pasar por un circuito integrador y un amplificador, es transformada por un ADC a una señal digital que se reparte a distintos canales dependiente de la tensión de dicha señal. De esta manera se obtiene un histograma donde el canal es proporcional a la energía del fotón incidente.



Figura 1: Esquema del dispositivo experimental utilizado.

Antes de realizar las mediciones se midió el fondo de radiación que luego fue restado de todos los espectros obtenidos. Se realizó la calibración del instrumento a partir de los histogramas correspondientes a fuentes de <sup>60</sup>Co, <sup>22</sup>Na y <sup>137</sup>Cs. Utilizando los valores tabulados de las energías<sup>[2]</sup> de los fotones  $\gamma$  emitidos por dichos materiales, se obtuvo la recta de calibración  $Ch = (0,556\pm0,001)E[keV] + (19,2\pm0,7)$  que se muestra en la Fig. 2. Esta relación permite transformar un canal a la energía correspondiente.



Figura 2: Canales en función de la energía tabulada para los elementos  $^{60}$ Co,  $^{22}$ Na y  $^{137}$ Cs. En rojo se muestra el ajuste lineal realizado.

Para realizar las mediciones de calibración, se colocaron las diferentes muestras a una distancia fija del detector, normalizando los valores obtenidos por el tiempo vivo de cada medición.

Para la muestra de <sup>137</sup>Cs se estudió el fenómeno de *backscattering*. Para ello, se dispuso un bloque de Pb detrás de la muestra, de manera que los fotones emitidos en esa dirección puedan regresar e incidir sobre el detector. También se utilizaron bloques de Pb y de parafina de aproximadamente 5 cm de espesor para estudiar la atenuación producida por cada material. Para ello se dispusieron dichos bloques entre la muestra y el detector y se realizaron nuevas mediciones.

También se realizaron mediciones de <sup>40</sup>K para dos fuentes diferentes: sal dietética y una banana.

# III. Resultados

Al medir la radiación de fondo se observó un pico en la energía  $E = (1450 \pm 20)$  keV. El mismo se muestra en la Fig. 3. Se comprobó al comparar con las energías tabuladas que corresponde al pico de fotoeléctrico del <sup>40</sup>K, presente en los materiales de construcción, en el cuerpo humano, etc.



Figura 3: Pico hallado en el histograma de energías al medir la radiación de fondo. En línea punteada se muestra la energía del pico de fotoeléctrico para el  $^{40}$ K.

A continuación se midieron los espectros correspondientes a la sal dietética y a una banana. Dado que ambos poseen potasio, se observó un pico en la energía mencionada anteriormente. En la Fig. 4 se presenta el pico del  $^{40}$ K medido para ambos y el fondo de radiación. Como puede observarse, la cantidad de  $^{40}$ K es considerablemente mayor en la sal de mesa que en la banana y el fondo.



Figura 4: Se realizó el histograma de energías para Sal dietética (en línea gruesa verde), para una banana (línea fina roja) y se presenta comparado con el fondo de radiación (línea media negra).

En la Fig. 5(a) se muestra el espectro obtenido para la fuente de  $^{137}$ Cs y en la Fig. 5(b) lo mismo al colocar un ladrillo de Pb detrás de la fuente.



Figura 5: Histograma de energías para (a) una fuente de  $^{137}Cs$  frente al detector y (b) la misma fuente pero con un ladrillo de Pb colocado detrás de ella, en sentido opuesto al del detector.

Vemos que aparece más marcada una meseta centrada en las energías cercanas a la diferencia entre el pico de fotoeléctrico y el borde Compton (que representa la máxima energía cinética de un electrón dispersado). La misma corresponde a fotones que volvieron del ladrillo de Pb hacia el detector. Además aparece un pico en aproximadamente 69 keV<sup>[3]</sup>, debido a la transición K $\alpha_2$ en el Pb (que corresponde a la emisión de RX).

En la Fig. 6 se muestran los espectros obtenidos para la fuente de  $^{137}\mathrm{Cs}$  sin atenuación, con el ladrillo de Pb entre la fuente y el detector y luego con parafina como atenuador.



Figura 6: Comparación de las intensidades de los picos de fotoeléctrico del  $^{137}Cs$  sin ningún bloque interpuesto entre la fuente y el detector (línea negra gruesa), con un ladrillo de Pb entre ellos (línea verde fina) y con un ladrillo de aproximadamente las mismas dimensiones pero de parafina (línea roja media).

Como puede verse, la atenuación para el caso del Pb es total, mientras que para la parafina se observa una atenuación parcial. Esto concuerda con lo esperado ya que el Pb tiene mayor Z que los elementos que conforman la parafina (B, C, etc).

#### Estimación de la dosis recibida durante la experiencia

Se utilizó la fuente de  $^{137}$ Cs para estimar la cantidad de radiación recibida durante el experimento. Al día de la fecha, la actividad de la muestra resultó ser de  $A = 8,94 \ \mu$ Ci, la cual se supuso constante en el tiempo de trabajo ( $\Delta t \sim 4$  h). Usando una distancia promedio a la muestra de r = 1 m y que el valor de la constante específica  $\Gamma$  para el <sup>137</sup>Cs es  $\Gamma = 0,32 \ \text{Rm}^2 \text{Ci}^{-1}\text{h}^{-1}$  en donde R es el *Roentgen*, unidad de medida para la exposición a la radiación  $\gamma$ , se tiene que la tasa de dosis absorbida es

$$\frac{dD}{dt} = 0.95 \frac{\Gamma A}{r^2} = 2.72 \cdot 10^{-6} R h^{-1}$$
(2)

donde el factor 0, 95 indica cuanto de la exposición pasa a ser radiación absorbida. Multiplicando por la cantidad de horas de trabajo y convirtiendo el resultado a la unidad Sv (*Sievert*) del SI, se obtiene:

$$D = \frac{dD}{dt} \Delta t \sim 1 \cdot 10^{-7} Sv \tag{3}$$

La dosis mínima que puede provocar daño en un mismo día es de 0,25  $\rm Sv^{[4]}.$ 

# IV. Conclusiones

Se calibró el instrumento de medición utilizando fuentes de  $^{60}\mathrm{Co},\,^{22}\mathrm{Na}$  y  $^{137}\mathrm{Cs}.$ 

Se comparó la intensidad del pico de  $^{40}{\rm K}$  para tres casos diferentes: la medición de fondo, la sal dietética y una banana.

Se observó el fenómeno de backscattering generado por un bloque de Pb colocado detrás de la muestra de  $^{137}{\rm Cs}.$ 

Se observó la diferencia entre la atenuación producida por un bloque de Pb de aproximadamente 5 cm de espesor y uno de parafina de las mismas dimensiones. La atenuación dada en el primer caso resultó notablemente mayor.

Se calculó que la dosis recibida por quienes realizaron el experimento es del orden de  $10^{-7}$  Sv, que se encuentra por debajo del límite de nocividad.

### Referencias

- John Lilley. Nuclear physics: principles and applications. John Wiley & Sons, 2013.
- [2] Nist X-Ray and Gamma-Ray Data. https://www.nist.gov/pml/x-ray-and-gammaray-data. 2017.
- [3] Nist X-Ray Transition Energies Database. https://www.nist.gov/pml/x-ray-transitionenergies-database. 2017.
- [4] Lana Aref. Nuclear Energy: the Good, the Bad, and the Debatable. Massachusetts Institute of Technology.