

Interacción de la radiación gamma con la materia

BOZ, Felipe; MEDINA RAMOS, Raimel
CARRERAS OROPESA, William; DALL'ALBA, Agustín
Introducción a Partículas y Física Nuclear - Instituto Balseiro

5 de abril de 2017

Resumen

I. Introducción

En las diversas aplicaciones de los materiales radiactivos, es de suma importancia conocer cómo interactúa la radiación gamma con la materia. Los diferentes mecanismos de interacción dependen fuertemente de la energía de la radiación incidente y del material con el cual interactúan (densidad, número atómico), se distinguen tres tipos principales de mecanismos:

Efecto fotoeléctrico Este fenómeno se produce cuando un fotón incide sobre un átomo de algún material y su energía es completamente absorbida por el átomo. Producto a esto se liberará un fotoelectrón de una de las capas más ligadas al átomo. La energía cinética que adquiere el fotoelectrón está dada por la diferencia entre la energía del fotón incidente y determinado trabajo que se requiere para extraerlo del átomo.

Efecto Compton Cuando un fotón incide contra un átomo de modo que es absorbido, dicho átomo libera un fotoelectrón con determinada energía cinética y además otro fotón con una energía menor a la del fotón incidente. La relación entre la energía del fotón incidente y el liberado es únicamente función de la desviación angular entre las direcciones del movimiento de dichos fotones.

Producción de pares Este fenómeno sólo es posible si la energía de la radiación incidente es no menor al doble de la energía en reposo del electrón, o sea 1.02 MeV. En este proceso, principalmente por la acción de fuerzas de interacción de los campos asociados a la radiación incidente (fotones) y los átomos de determinado material, el fotón incidente desaparece espontáneamente dando lugar a la formación de un par electrón-positrón. Cualquier exceso en energía, con respecto a la energía incidente, se convertirá en energía cinética del par. La energía cinética del par es transferida al medio por colisiones. En el momento en que la energía del positrón es suficientemente pequeña este se aniquila con un electrón liberando dos rayos γ , que pueden ser absorbidos por el material, o simplemente, pueden escapar de este.

En la figura 1 se evalúa la importancia relativa entre

los procesos comunes de interacción de la radiación γ con la materia en función de la energía de los mismos, E_γ y, el número atómico Z .

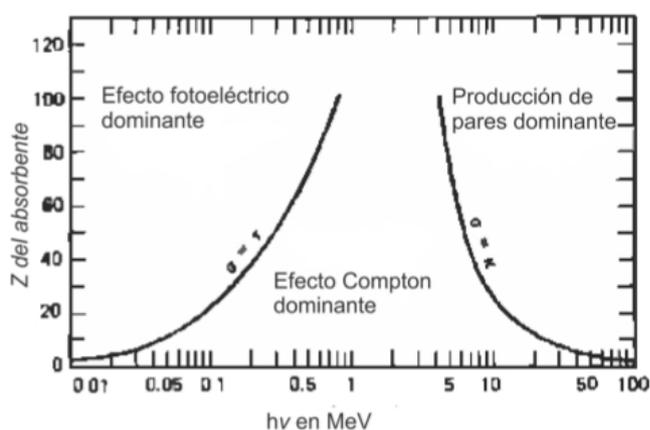


Figura 1: Importancia relativa entre los efectos Fotoeléctrico, Compton y Producción de Pares.

II. Método Experimental

En la figura 2 se muestra el dispositivo experimental que se usó durante la medición de los espectros de las diferentes fuentes de radiación utilizadas.

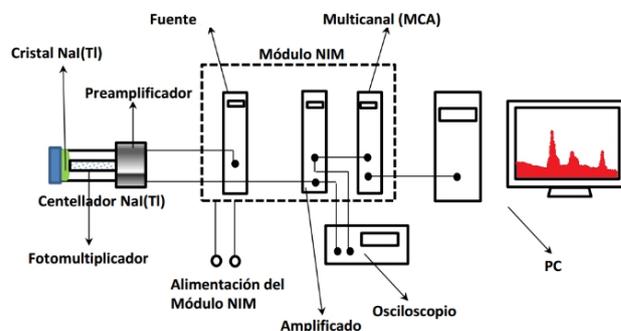


Figura 2: Esquema del arreglo experimental utilizado en la medición de los espectros de radiación.

La radiación proveniente de la fuente radiactiva incidía sobre un centellador de NaI(Tl). El centellador presentaba

un cristal transparente de NaI(Tl), el cual se encontraba adherido a un fotomultiplicador que era alimentado con una tensión de 1000 V proveniente de una fuente de alta tensión (ORTEC Model-556). Justo a la salida del fotomultiplicador el centellador presentaba una etapa de pre-amplificación y, luego de que la señal pasaba por esta etapa era dirigida a un amplificador (ORTEC Model-590). Luego la señal llegaba un dispositivo Multicanal (MCA) donde los pulsos eran distinguidos según su amplitud en diferentes categorías-canales. El MCA estaba sincronizado para trabajar en 1024 canales y estaba conectado a una PC. Los pulsos que eran analizados, posteriormente eran incorporados a un histograma el cual podíamos observar mediante el software MAESTRO, en la PC.

III. Formas del espectro observado

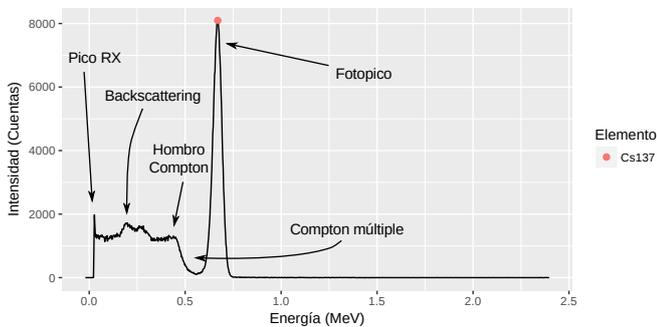


Figura 3: Esquema del arreglo experimental utilizado en la medición de los espectros de radiación.

En la figura 3 se muestra un espectro típico obtenido para la fuente de ^{137}Cs 137. La forma del mismo esta relacionada con la función de respuesta que se define para cada detector. Es posible observar en el espectro los siguientes fenómenos:

A grande rasgos, un espectro puede describirse según el continuo Compton y el fotopico. Recordemos que cuando se da la interacción por efecto Compton el electrón producido se mueve con una energía cinética que varía continuamente desde cero hasta un máximo.

Supongamos inicialmente que los fotones γ pueden interactuar una única vez con el material del detector. Entonces, dado que el número de canal es proporcional a la energía de los electrones, se observa un continuo que va desde los canales más bajos (de menor energía) hasta el canal que representa la energía máxima que absorbe el electrón por efecto Compton.

Sin embargo, en el espectro medido se observa un número de cuentas no nulo en la región correspondiente a energías superiores de las del máximo Compton. Esto se debe a que la hipótesis de scattering único que suele hacerse no es válida: Es posible que sumando la energía depositada por un único fotón en múltiples interacciones con el cristal la energía total supere el máximo Compton. Por ello, el espectro se completa con cuentas en los canales más altos respecto al de correspondiente a la máxima energía Compton.

El número de cuentas en el fotopico es proporcional a la cantidad de fotones que interactuaron por efecto fotoeléctrico, ya sea inicialmente, o luego de haber interactuado por efecto Compton. En efecto, un evento en el fotopico representa el hecho de que un fotón ha cedido toda su energía a los electrones del detector, independientemente de mediante qué proceso lo hizo. Es por ello que el canal donde se ubica el fotopico corresponde a la energía de la radiación γ incidente. El número de cuentas en esta zona se distribuye en forma normal. Esto último se debe a que en la cadena de amplificación se introduce ruido, en especial en la parte de fotomultiplicación.

Por último, en el presente experimento, pudimos observar los efectos de la radiación secundaria producida en la cercanías de la fuente. El detector está rodeado de blindaje o materiales que dispersan la radiación y por lo tanto influyen en el espectro. Los efectos más importantes a bajas energías son el pico de backscattering (Sección V) y el pico de rayo X, ilustrados en la figura 3.

El pico de rayos X se debe a que en la absorción fotoeléctrica el átomo absorbente puede emitir un rayo X característico al reacomodarse las capas electrónicas del átomo ionizado. Cuando este rayo X es absorbido por el material del centellador, se observa un pico definido y de baja energía en el espectro.

IV. Calibración

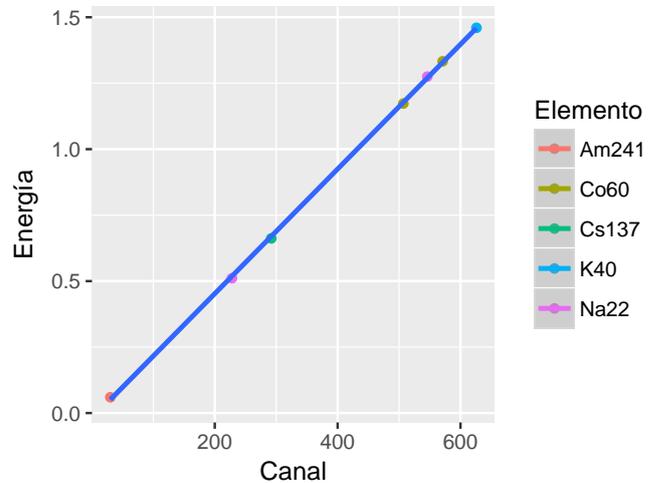


Figura 4: Calibración Canal-Energía

Para determinar a qué energía correspondía cada canal del multicanal se midieron muestras patrón de ^{241}Am , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{40}K y ^{22}Na , y se compararon sus picos más intensos con aquellos encontrados en la literatura. Se esta forma se encontró la recta de calibración de la figura 4, cuya pendiente es $2.362(13)$ keV/canal y su ordenada al origen $20(6)$ keV.

V. Backscattering

En los gráficos de las figuras 5 y 6 se puede observar los histogramas para las fuentes de ^{60}Co y ^{137}Cs . Se puede

ver que cuando usamos una pared reflectora de radiación (ladrillo de plomo), la cantidad de radiación que llega al detector es mayor.

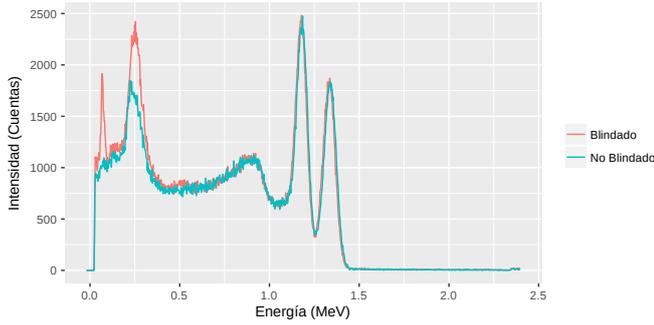


Figura 5: Histogramas de radiación del ^{60}Co , con y sin blindaje. Se aprecia como el efecto de backscattering aumenta fuertemente al blindar el detector con plomo.

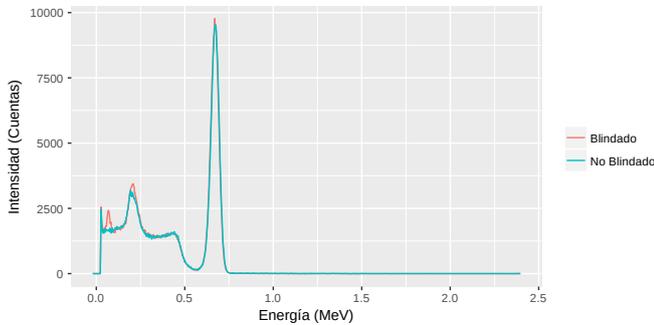


Figura 6: Histogramas de radiación del ^{137}Cs , con y sin blindaje.

Esto se manifiesta en el crecimiento de los picos señalados en los gráficos. Este fenómeno es conocido como backscattering. Parte de la radiación, mayormente gamma, que sale tanto de la fuente de ^{60}Co como ^{137}Cs interacciona vía Compton con los átomos del ladrillo de Pb. Una parte de la radiación se dispersa a un ángulo mayor a 90° respecto a la dirección de la radiación incidente, dicha radiación es detectada por el detector y esto no es más que el fenómeno de backscattering antes mencionado.

VI. Cálculo de las dosis de radiación

Antes de comenzar toda medición que involucre radiación, debemos saber a cuánto nos estaremos exponiendo para trabajar en un ambiente seguro. La radiación permitida recibida en un período de un año es de 20 mSv para un trabajador en constante exposición a radiación. Si planeamos entender cuánto recibiremos en las 3 horas de clase, debemos suponer que la fuente de radiación I es isotrópica. Entonces podemos calcular su actividad teniendo en cuenta el número de cuentas que nos aporta cada gráfico

diferenciando el pico correspondiente al de la radiación gamma en el tiempo t que dura la medición. Cabe notar que el número de cuentas no es en realidad el número total de decaimientos sino que es una fracción de ángulo sólido de lo que realmente emite la fuente; entonces, considerando la isotropía de esta, podemos imaginar que si ponemos el centellador (de cara expuesta a la radiación, circular de radio R) a una distancia d de la fuente I , la actividad es entonces es $A_I = [(4\pi d^2)/(\pi R^2)](\# \text{cuentas}/t)$.

Colocamos el centellador a una distancia $d = 9.1$ cm y el radio de este es de $R = 2.75$ cm. Esto implica que $A_I = 43,8 \cdot (\# \text{cuentas}/t)$. De las mediciones obtenidas para las 5 fuentes donde la radiación de fondo resulta despreciable se calculó la actividad actual de cada fuente (para el tiempo de 180 s usado durante la adquisición de datos) y la actividad en el momento de fabricación de la muestra (15 de abril del 2012). Los datos se encuentran en el cuadro 1.

Radioisótopo	#	Ac. actual	Ac. original
^{241}Am	343401	83,56/2,256	410/11,07
^{60}Co	147990	36,01/0,972	363/9,801
^{137}Cs	197558	48,07/1,29	47,37/1,28
^{22}Na	194709	47,37/1,28	339,8/9,17
Óxidos (^{238}U)	16691	4061/0,109	

Cuadro 1: Datos de actividad para las 5 fuentes analizadas. Las actividades están expresadas en kBq/ μCi

Donde se ve un claro decaimiento en la producción de la fuente desde el día de su fabricación. Ahora bien, teniendo las actividades de cada fuente, uno puede calcular la dosis recibida D en el período de exposición T y a una distancia r de la fuente como:

$$\frac{D_i}{T} = \frac{G_i A_i}{r^2} \quad (1)$$

donde G_i es una constante particular de cada fuente. Para esta ecuación, $[A_i] = \text{Ci}$, $[r] = \text{m}$, $[G_i] = \text{rem m}^2/\text{Ci}$ y $[D] = \text{rem} = 1 \text{ mSv}$.

Las constantes para nuestras fuentes son:

- $G_{^{241}\text{Am}} = ??$.
- $G_{^{60}\text{Co}} = 1,30$.
- $G_{^{137}\text{Cs}} = 0,36$.
- $G_{^{22}\text{Na}} = 1,2$.
- $G_{^{238}\text{U}} = ??$.

Si calculamos entonces la radiación recibida en las 3 horas de laboratorio (10 800 s) a una distancia de 5 m de la caja donde estaban las fuentes, obtenemos una dosis de radiación recibida de 0.15 mSv. Esto no incluye la dosis recibida por exposición al ^{241}Am y ^{238}U , pero nos da una idea del orden de magnitud. El límite reglamentado es de 20 mSv/año.