

ESPECTROSCOPIA GAMMA CON DETECTORES DE CENTELLEO (2)

1) Introducción

Los rayos gamma (γ) son una radiación electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, las ondas de microondas, los rayos infrarrojos, la luz visible, los rayos ultravioletas y los rayos X. Los rayos γ son, en general, más energéticos que los rayos X, aunque hay una franja de solapamiento bastante amplia en la zona de las decenas de keV. La diferencia fundamental con los rayos X es su origen: los rayos γ se producen por transiciones nucleares o subatómicas, en cualquier caso, mientras que los rayos X surgen de desexcitaciones electrónicas o como radiación de frenado. Como es posible que algunas transiciones electrónicas superen las energías de algunas transiciones nucleares, la frecuencia de rayos X más energéticos puede ser mayor que la de los rayos γ menos energéticos.

Los rayos γ son una radiación ionizante, esto es, su energía es generalmente suficiente para ionizar los átomos que forman la materia.

Cuando un rayo γ pasa a través de la materia, la probabilidad de absorción es proporcional al espesor del material. Esto implica un decrecimiento exponencial de la intensidad de la forma:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Siendo μ el coeficiente de absorción, I_0 la intensidad inicial y x el espesor del material.

La radiación γ interacciona con la materia principalmente de tres maneras: efecto fotoeléctrico, efecto Compton y creación de pares.

- Efecto fotoeléctrico: Cuando un fotón gamma interactúa con un electrón atómico le transfiere su energía y lo expulsa del átomo. La energía cinética del electrón eyectado es igual a la energía del fotón gamma incidente menos la energía de enlace del electrón.
- Efecto Compton: Interacción donde un fotón gamma incidente aumenta la energía de un electrón atómico lo suficiente para provocar su expulsión. La energía restante del fotón original emite un nuevo fotón gamma de baja energía con dirección de emisión diferente a la del fotón gamma incidente.
- Creación de pares. Debido a la interacción de la fuerza de Coulomb, en la vecindad del núcleo la energía del fotón incidente se convierte espontáneamente en la masa de un par electrón-positrón. Para ello es necesario que el fotón tenga una energía superior a 1.02 MeV, el equivalente a la masa en reposo de las dos partículas. El positrón se combina con un electrón libre, y toda la masa de estas dos partículas se convierte entonces en dos fotones gamma de 511 keV, cada uno.

2) Objetivos de la práctica

En esta práctica se pretende demostrar el uso de los detectores de centelleo de NaI(Tl) y su respuesta a la radiación γ . Para ello se realizarán las siguientes experiencias:

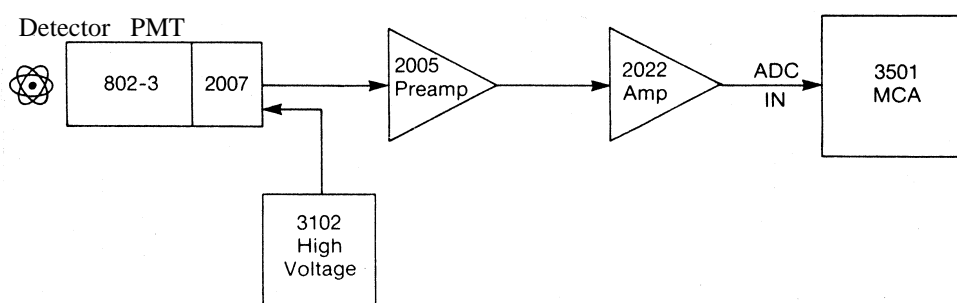
- Breve explicación sobre el ajuste de las condiciones experimentales.
- Calibraciones en energía, resolución y eficiencia. Interpretación de los espectros.
- Identificación de una muestra desconocida. Medida de su actividad.
- Cálculo del coeficiente de atenuación μ en el plomo.

3) Montaje experimental y material necesario

El funcionamiento básico de un detector de centelleo se basa en la emisión de luz al llegar radiación a él. Esta luz realiza efecto fotoeléctrico en el fotomultiplicador, obteniéndose electrones que posteriormente son acelerados a través de los dínodos. La carga recolectada es proporcional a la energía depositada inicialmente, y es tratada mediante la cadena electrónica para obtener el espectro en el multicanal.

La forma de emitir luz se consigue a través de materiales centelleadores, esto es, materiales que se exciten fácilmente con la radiación ionizante, y en su desexcitación emitan fotones que no exciten a su vez a otros átomos del material. Al final del material centelleador se encuentra el sensor fotoeléctrico. El objetivo es que todos los fotones producidos en el centelleador lleguen hasta el sensor fotoeléctrico, donde se producen los electrones mediante efecto fotoeléctrico. Estos electrones se verán conducidos por campos eléctricos hasta distintos dínodos multiplicadores con el objetivo de acelerarlos y amplificar la señal. La altura del pulso será, en todo el proceso, proporcional a la energía que llevaba la partícula que interaccionó con el detector.

Los aparatos (detector, tubo fotomultiplicador, fuente de alto voltaje, preamplificador, amplificador y multicanal) irán conectados según la siguiente figura:



La tensión de trabajo será de 1000V.

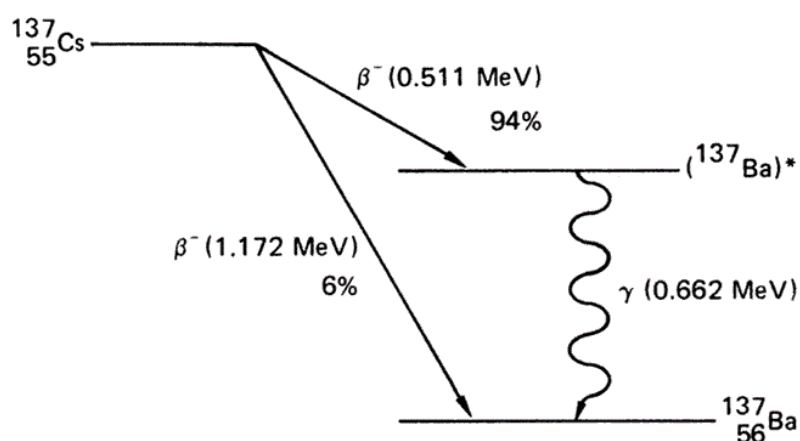
Además, se utilizará un conjunto o "kit" de fuentes γ de actividades conocidas. En la siguiente tabla se detallan las fuentes y sus principales emisiones γ :

Fuente	T _{1/2}	Emisiones Principales (keV)	Intensidad (%)
¹³⁷ Cs	30.2a	661.660	84.7
⁶⁰ Co	5.3a	1173.238	99.89
		1332.502	99.983
⁵⁷ Co	271.8d	122.0614	85.68
		136.4743	10.67
²² Na	2.6a	511.003	180.5
		1274.542	99.93

4) Metodología

a) Ajuste de las condiciones experimentales. Interpretación del espectro de ¹³⁷Cs.

El ajuste de las condiciones experimentales, además de colocar el detector a 1000 V, consiste en variar la ganancia del amplificador de forma que nos aseguremos que vamos a medir las emisiones γ que haya por debajo de 2 MeV. Para esto se usa la fuente de ¹³⁷Cs, que presenta una emisión a 662 keV aproximadamente, como puede observarse en el siguiente esquema de decaimiento:



Por lo tanto, cambiando la ganancia, debemos conseguir que el fotopico aparezca sobre el 40% del número de canales que escojamos (por ejemplo, sobre el canal 90 de un total de 256 canales), suponiendo una respuesta lineal.

En caso de que sea necesario, es necesario hacer también la cancelación del polo cero usando la señal unipolar del amplificador. Se trata de conseguir que la caída de los pulsos amplificados sea efectivamente a 0 y no por debajo de la línea base. Al no restaurarse la línea base, la altura del pulso que se comunica al MCA es distinta a la que le correspondería, dando lugar a desplazamientos en las posiciones de los picos.

b) Calibraciones en energía, resolución y eficiencia.

Para calibrar el sistema, se registran los espectros γ de todas las fuentes disponibles. Estas se colocarán siempre a la misma distancia del detector. Con la posición (canal) de cada fotopico se realiza la calibración en energía, ajustando los datos (canal, energía) a una recta:

$$E = a + b \cdot \text{Canal}$$

Con la FWHM se hace una calibración en resolución del tipo:

$$(\text{FWHM})^2 = a + b \cdot E$$

ya que sabemos que:

$$R = \frac{\text{FWHM}}{H_0} = \frac{\sqrt{a + b \cdot E}}{E}$$

Con las áreas de los fotopicos se hace la calibración en eficiencia. La eficiencia de fotopico ϵ es la relación entre la tasa de recuento N y el producto entre la actividad A de la muestra y la intensidad I de la emisión γ :

$$\epsilon = \frac{N}{A \cdot I}$$

IMPORTANTE: N debe ser corregido por el tiempo muerto del sistema. N y A deberán estar en las mismas unidades (por ejemplo, cuentas/segundo y Bq, respectivamente).

Además, es necesario medir un espectro de fondo ambiental que deberá ser substraído en cada caso.

Para hacer la calibración hay que conocer entonces la actividad que presenta cada muestra en el momento de realizar la práctica, calculándola a partir del certificado de cada muestra de acuerdo con la ley exponencial:

$$A = A_0 \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right)$$

Para el tipo de detector usado y en estos rangos de energía, la eficiencia se puede ajustar como:

$$\ln(\epsilon_f) = a + b \cdot (\ln E_g) + c \cdot (\ln E_g)^2$$

c) Identificación de una muestra desconocida. Medida de su actividad.

En este apartado, con todo el sistema ya calibrado, se procederá a identificar una muestra problema a través de sus emisiones γ .

d) Cálculo del coeficiente de atenuación μ en el plomo

Calcular el coeficiente de atenuación μ de los rayos γ de la fuente de ^{137}Cs en el plomo, a partir de medidas realizadas interponiendo, entre la fuente y el detector, láminas de Pb de espesor conocido.

ANEXO: Planning para el desarrollo de la práctica debido a la situación provocada por el COVID-19.

- Los alumnos disponen de 80 min para la realización de la práctica.
- Se tomarán medidas de 180 s de las distintas fuentes.
- Se tomará una medida de 180 s para la fuente problema.
- Se tomará una medida de 180 s de cada uno de los distintos espesores de Pb con el Cs-137.

Alumno 1	Alumno 2	Alumno 3	Alumno 4	Tiempos
Introducción/Explicación del profesor				20 min
Cs-137	Co-60	Co-57	Na-22	3.5 min
Na-22	Cs-137	Co-60	Co-57	3.5 min
Co-57	Na-22	Cs-137	Co-60	3.5 min
Co-60	Co-57	Na-22	Cs-137	3.5 min
Breve discusión sobre los espectros obtenidos				10 min
Problema	Espesor A	Espesor B	Espesor C	3.5 min
Espesor D	Espesor E	Problema	Espesor A	3.5 min
Espesor B	Espesor C	Espesor D	Espesor E	3.5 min
Espesor A	Espesor B	Espesor C	Espesor D	3.5 min
Espesor E	Problema	Espesor A	Espesor B	3.5 min
Espesor C	Espesor D	Espesor E	Problema	3.5 min
Breve discusión y dudas				10 min
				Total : 75 min