Caracterización de los espectros de emisión γ a través de la medición de fotopicos Introducción a Física Nuclear y de Partículas

Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, Comisión Nacional de Energía Atómica Ariel Salgado, Martín Takion Onetto, Johann Cambra, Leonardo Ayala

INTRODUCCIÓN:

Es sabido que los materiales radiactivos decaen a través de la emisión de distintas partículas: α , β y γ . La emisión α corresponde a la emisión de un núcleo de ⁴He, la β a un electrón o un positrón y la γ a un fotón. Este último ocurre cuando un elemento, en un estado excitado, decae a su estado fundamental.

Muchas veces estos decaimientos ocurren de forma encadenada: así, por ejemplo, un núcleo de número atómico *A* y carga *Z* emite una partícula α , convirtiéndose en un núcleo con con número atómico *A*-4 y carga *Z*-2. El nuevo núcleo puede estar en un estado excitado el cual decaerá emitiendo radiación γ a su estado fundamental.

Los fotones emitidos interactúan con la materia principalmente a través de tres mecanismos: el efecto Compton, el efecto fotoeléctrico y la producción de pares. En el efecto Compton el fotón incide sobre un electrón, dispersandose y entregando al electrón parte de su energía y momento. En el efecto fotoeléctrico un electrón ligado a un átomo absorbe el fotón incidente y sale expulsado del átomo al que se encontraba ligado. En la producción de pares, el fotón incidente se transforma en un electrón y un positrón. Para que la producción de pares pueda ocurrir son necesarias dos condiciones: que la energía del fotón sea mayor a 2 veces la energía en reposo del electrón y que haya un núcleo en las cercanías de la transformación que pueda balancear el cambio de impulso lineal.

Dado que en algunas de las muestras analizadas presentan decaimientos de elementos de la cadena de decaimiento del torio, a continuación se presenta dicha cadena de decaimiento:



Figura 1: Cadena de decaimiento del ^{232}Th .

El objetivo de este trabajo es aprender a utilizar los detectores de centelleo de yoduro de sodio dopados con talio que se utilizan en la detección de rayos gamma. Además, se busca identificar los isótopos radiactivos presentes en muestras de uranio enriquecido y uranio natural, sal light, arenas de playas de brasil y camisa sol de noche.

MÉTODO EXPERIMENTAL:

Un detector centellador está compuesto por un cristal que puede ser orgánico o inorgánico. El centellador emite luz en el rango visible o en el ultravioleta cercano cuando una partícula cargada pasa por él. Estas partículas cargadas pueden ser generadas cuando radiación gamma pasa por el centellador e interactúa con éste mediante la producción de pares, efecto fotoeléctrico o Compton. Todas las muestras utilizadas son emisoras de radiación gamma por lo que su estudio con un detector centellador resulta conveniente.

Se utilizó un detector centellador de Nal dopado con TI para obtener los histogramas de todas las muestras utilizadas. La señal generada por el centellador pasa por un fotomultiplicador del cual se obtiene un pequeño pulso por cada uno de los eventos que ocurren en el centellador, la altura de este pulso es proporcional a la intensidad de la radiación gamma que entra al centellador. Luego, el pulso pasa por un pre-amplificador el cual aumenta la intensidad de la señal y además la deriva. La señal que sale del pre-amplificador pasa por un amplificador que amplifica la señal y además la integra. Finalmente, la señal de salida pasa por un multicanal, éste separa los pulsos en distintos canales en función de su altura y con ésto se genera un histograma que se adquiere a través de un ordenador.

Las mediciones de todas las muestras duraron 300 segundos, el voltaje del multiplicador fue 750V, y la ganancia del amplificador se fijó en 10.

Con los histogramas del ¹³⁷Cs, ²²Na y ⁶⁰Co se realizó un ajuste lineal para determinar una correspondencia entre número de canal y energía, ésto se hizo identificando cada pico con una energía característica de la muestra. Con este ajuste se generaron los espectros de energía mostrados a lo largo de este informe.

La identificación de los picos de cada espectro se realizó buscando en la base de datos de la IAEA, Table of Isotopes (8° edición) Richard Firestone o comparando con algún espectro encontrado en bibliografía.

A cada gráfico se asoció un fondo a fin de independizarse de la radiación ambiente. A continuación se realizó la resta entre el espectro y el fondo. Se emplearon estos para determinar la posición de los picos.

RESULTADOS:

Calibración:

Para realizar la calibración de la energía de los canales se emplearon muestras de ¹³⁷Cs, ²²Na, y ⁶⁰Co. Tomando como conocidas las energías de los picos característicos de

estos materiales se realizó una regresión lineal obteniéndose el ajuste presentado en la Figura 2. Los resultados se presentan en la tabla 1.



<u>Figura 2:</u> Calibración del número de canales para cada energía. El ajuste se realiza según la ecuación C = aE + b. Los valores de los coeficientes se presentan en la Tabla 1.

a(keV)	0,952±0,006
b(keV)	-34±6

<u>Tabla 1:</u> Valores de los coeficientes del ajuste del número de canales en función de la energía según C = aE + b.

Dado que rayos gamma con energías negativas carecen de sentido, es probable que la linealidad entre canales y energías falle para energías bajas. Sin embargo, para el análisis que se realizó el valor negativo de la ordenada al origen no generó ningún problema.

A continuación se presentan los espectros obtenidos para ¹⁵²Eu, ²³⁵U, una camisa de sol de noche con ²³²Th y una muestra de arena con ²³²Th con el fondo ya restado y los distintos picos indicados.

<u>Eu152:</u>

En la Figura 3 se presenta lo obtenido para el ¹⁵²Eu. Se indica en la gráfica los valores de energía de los picos correspondientes al ¹⁵²Eu. Los picos señalados corresponde a

valores cercanos a decaimientos γ conocidos del mismo. En la Tabla 2 se contrastan los valores tabulados de los picos con los valores obtenidos.



<u>Figura 3</u>: Se presenta el espectro obtenido del ¹⁵²Eu. Se listan los picos cercanos a los valores de los decaimientos.

Medido (keV)	Tabulado (keV)	Medido (keV)	Tabulado (keV)
234±5	244,693±0,005	965±5	964,05±0,03
338±5	344.272±0,007	1099±5	1085,83±0,03
780±5	778,890±0,016	1400±5	1408,03±0,03

<u>Tabla 2:</u> Se presentan los valores obtenidos, con el valor tabulado a la derecha. Se observa buena concordancia entre lo medido y lo tabulado.

Camisa de sol de noche:

En la Figura 4 se observa el espectro obtenido para una camisa de linterna. Se lograron identificar los picos correspondientes a decaimientos del ²¹²Pb, ²²⁸Ac y ²⁰⁸Tl. Los decaimientos encontrados corresponden a la cadena de decaimiento del ²³²Th (ver Figura 4).

Las discrepancias entre lo medido y lo tabulado podrían tanto a deberse a errores en la calibración, o a una subestimación del error de los picos.



<u>Figura 4:</u> Espectro obtenido para la camisa de sol de noche. Se presentan las energías de los picos ajustados junto al elemento padre del decaimiento

Valor medido (keV)	Valor tabulado(keV)	Valor medido (keV)	Valor tabulado (keV)
$^{212}Pb~(228~\pm5)$	238	$^{208}Tl(577 \pm 5)$	583
$^{228}Ac (332 \pm 5)$	338	$^{228}Ac (920 \pm 5)$	911

<u>Tabla 3:</u> Energías obtenidas para los picos del espectro de la camisa de sol de noche. Se presentan a la par los valores tabulados para los decaimientos γ más similares.

Arena de las playas de Brasil:

Utilizando el ajuste lineal para determinar la relación energía-canal (Figura 2) se obtuvo el espectro mostrado en la Figura 5. Se lograron identificar los picos correspondientes a decaimientos del ²¹²Pb, ²²⁸Ac y ²⁰⁸Tl. Los decaimientos encontrados corresponden a la cadena de decaimiento del ²³²Th (ver Figura 1). En la Tabla 4 se presentan los valores de las energías correspondientes a cada pico, medidas y tabuladas [1], puede observarse que todos los picos coinciden muy bien con los tabulados.



Figura 5: Espectro de energías de la muestra de arena.

Valor medido (keV)	Valor tabulado(keV)	Valor medido (keV)	Valor tabulado (keV)
$^{212}Pb~(226~\pm7)$	238	$^{208}Tl(583 \pm 8)$	583
$^{228}Ac (324 \pm 8)$	338	$^{228}Ac (920 \pm 10)$	911

Tabla 4: Energías medidas y tabuladas para los picos de la muestra de arena.

Uranio Natural:

En la Figura 6 se observa el espectro obtenido para una muestra de uranio natural. En la figura se señalan los picos correspondientes a decaimiento de ²³⁴Th, ²³⁵U y ²³⁸U. Los resultados se presentan en la tabla 5.



Figura 6: Espectro de energías de la muestra de Uranio Natural.

Valor medido (keV)	Valor tabulado(keV)	Valor medido (keV)	Valor tabulado (keV)
$^{238}U(43 \pm 8)$	50	$^{235}U(175 \pm 7)$	185
$^{234}Th(77 \pm 8)$	74	$^{235}U(760 \pm 12)$	766
$^{234}Th (94 \pm 8)$	93	$^{235}U(1001 \pm 10)$	1001

Tabla 5: Energías medidas y tabuladas para los picos de la muestra de Uranio Natural.

Los valores obtenidos en las mediciones tras la calibración solapan con los tabulados excepto el correspondiente a 185 keV cuya discrepancia puede deberse a la subestimación del error en la calibración.

Uranio enriquecido:

En la Figura 7 se observa el espectro obtenido para una muestra de uranio natural. En la figura se señalan los picos correspondientes a decaimiento de ²³⁴Th y ²³⁵U.Los resultados se presentan en la tabla 6.



Figura 7: Espectro de energías de la muestra de Uranio enriquecido.

Valor medido(keV)	Valor tabulado(keV)	Valor medido (keV)	Valor tabulado (keV)
$^{234}Th(71 \pm 10)$	74	$^{235}U(130 \pm 10)$	143
$^{235}U(175 \pm 7)$	185		

Tabla 6: Energías medidas y tabuladas para los picos de la muestra de Uranio enriquecido.

Al igual que en el caso del Uranio Natural el único pico que no solapa con el tabulado es el de 185 keV.

Sal Light:

Se analizó el espectro de emisión de un paquete de sal de mesa light. En su fabricación se reemplaza una parte del cloruro de sodio (NaCl) por cloruro de potasio (KCl). El potasio tiene el isótopo ⁴⁰K con una abundancia 0,01 %. Éste puede decaer por el mecanismo β^+ o por captura electrónica a un estado excitado del ⁴⁰Ar. Cuando el ⁴⁰Ar se desexita emite un γ de 1460,830 keV de energía. El espectro medido se puede ver en la Figura 8.



<u>Figura</u> <u>8</u>: Espectro de energías de la sal light y el fondo. Se puede observar el pico correspondiente al ⁴⁰K.

El valor medido del pico de 40 K es (1440±7) keV y el reportado² es 1460,830 keV. Esta discrepancia se puede deber a un error en la calibración de la energía de los canales o a una subestimación en la determinación error del pico de absorción.

Dosis efectiva recibida:

Se realizó una estimación de la dosis recibida por una persona de aproximadamente 1,75 m de altura y 70 kg de masa debido a una fuente de ^{137}Cs durante 5 horas (duración de la práctica). La energía recibida puede calcularse con:

$$\frac{\Delta E}{\Delta m} = A(t) * T * \frac{hv}{\Delta m} * \Omega * (1 - e^{-\mu a}).$$

Donde A(t) es la actividad de la pastilla de cesio en la fecha actual (se consideró constante durante el transcurso de la práctica), *h*v es la energía de los gamma emitidos por la fuente de cesio, T es el tiempo de duración de la práctica, Δm es la masa de una persona promedio, Ω es el ángulo sólido subtendido por una persona, μ es el coeficiente de atenuación del agua y *a* es el ancho de una persona (20 cm). Sustituyendo los valores en la ecuación se obtiene:

$$\frac{\Delta E}{\Delta m} = 2,77 \times 10^{-7} \frac{J}{kg},$$

lo cual es menor a la dosis recibida por una persona debido al ingesto de una banana diaria durante un año.

CONCLUSIONES:

Se lograron identificar todos los picos presentes en los espectros con emisiones gamas de distintos isótopos. Particularmente, en la muestra de arena y en la camisa de sol de noche se puede concluir que todos los picos corresponden a elementos de la cadena de desintegración de ²³²Th. Considerando que la estadística empleada fue pequeña, se ve un gran acuerdo entre lo medido y lo tabulado.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] <u>http://www.gammaspectacular.com/gamma_spectra/th232-spectrum</u>

[2] Richard Firestone. Table of Isotopes (8° edición).

[3] Hastings A. Smith Jr. The Measurement of Uranium Enrichment.