

PRÁCTICA 1: ESPECTROMETRÍA

1) Introducción teórica

La espectrometría tal consiste en obtener el número de fotones que tienen una determinada energía. Para ello, usaremos dos fuentes de fotones, como son el ^{137}Cs y el ^{60}Co , y un detector de ioduro de sodio activado con talio. Teóricamente, la radiación emitida por el Cs es monocromática, y la del cobalto bicromática. Cabe esperar que las medidas de radiación generen tres máximos de intensidad en torno a estos valores.

Debido a la naturaleza del detector, y al propio proceso de medida, lo obtenido en el laboratorio difiere de esta distribución de intensidades esperada. Por un lado, la resolución limitada del detector provoca que los máximos de intensidad tengan una cierta anchura. Por otro lado, no todos los fotones emitidos por la fuente llegan 'intactos' al detector, sino que mediremos una distribución continua de radiación que nos llega en el rango de bajas energías. Estos fotones son los que alcanzan al detector después de sufrir colisiones inelásticas (dispersión Compton) o procedentes de otro tipo de procesos ocurridos, como frenado de radiación por.

–Procesos de colisión inelástica:

El fenómeno de dispersión inelástica de radiación por electrones es de sobra conocida. El cambio en la longitud de onda del fotón dispersado obedece a la ecuación:

$$\Delta\lambda = \lambda_c(1 - \cos\theta)$$

donde θ es el ángulo de dispersión. Consecuentemente los cambios máximos de energía para fotón y electrón son:

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{2h\nu}{m_0c^2}}$$
$$E_{e^-} = h\nu \frac{\frac{2h\nu}{m_0c^2}}{1 + \frac{2h\nu}{m_0c^2}}$$

Esta energía representa el máximo que puede ser transferido a un electrón en una interacción Compton simple. Dado que tendremos dispersiones para todos los ángulos posibles dentro del detector, las energías transferibles forman un continuo desde cero hasta la dada por la fórmula 3.

–Otros tipos de procesos:

La mayoría de los emisores de radiación α , decaen por emisión α . Normalmente la cápsula en que viene la muestra es suficiente para evitar que esas partículas lleguen al detector. En otro caso es necesario utilizar un material absorbente. En este proceso de absorción ha producción de radiación secundaria, que puede llegar al detector. En principio, el espectro bremsstrahlung puede extenderse hasta una energía igual a la energía máxima de una partícula α , pero la aportación importante está restringida para valores mucho menores que ésta.

La resolución de detector, es el factor que nos deforma cada uno de los picos de intensidad, ya que obtenemos unas curvas de intensidad con forma de campana cuya anchura depende de la citada resolución. Así pues, podremos evaluar la resolución del aparato en función de la anchura de los fotopicos y los valores de los máximos de las energías. Dado que tenemos un fotopico para el cesio y dos para el cobalto, podremos obtener tres valores de la resolución.

Para la conversión de datos de energías a voltaje, y viceversa, dado que la elección de la ganancia es arbitraria, hallamos la recta de calibrado, Efotopico teórica frente a los voltajes correspondientes.

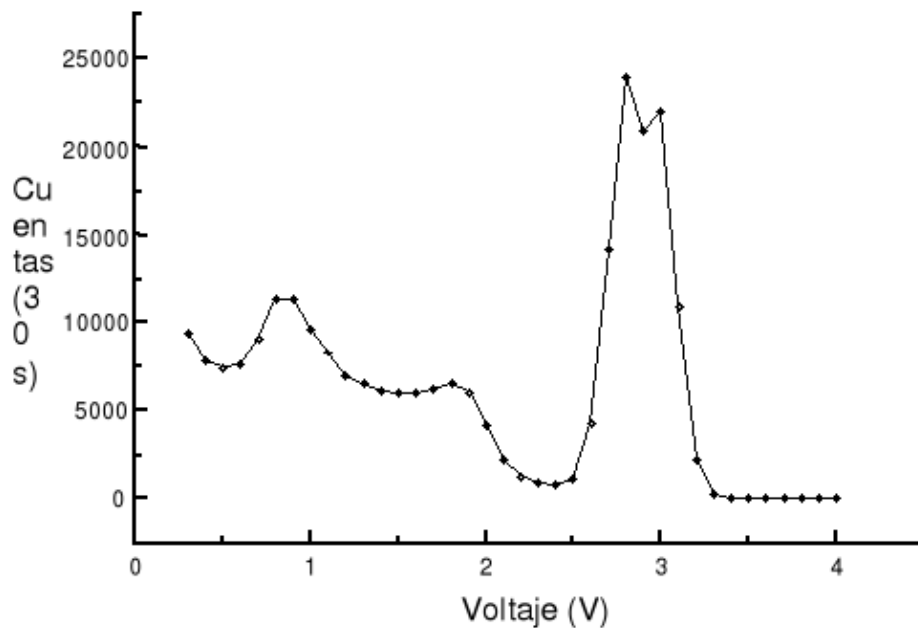
2) Resultados experimentales:

Lo primero a realizar en el laboratorio es ajustar la ganancia del amplificador de manera que las cuentas medidas sean adecuadas al estudio que vamos a llevar a cabo. En este sentido, es interesante medir fotones en intervalos de energía correspondientes a anchos de potencial de **0.1 V** para que las medidas sean significativas. Así, ponemos una ganancia de 15 de manera que el fotopico del ^{137}Cs corresponda a **3,3 V**, y podamos tomar del orden de treinta medidas significativas.

a) Espectrometría para el ^{137}Cs

Colocamos, pues, la muestra de Cesio y se obtienen las siguiente serie de medidas:

Voltaje (V)	Cuentas (30 seg.)	Voltaje (V)	Cuentas (30 seg.)	Voltaje (V)	Cuentas (30 seg.)	Voltaje (V)	Cuentas (30 seg.)
4	36	3	22004	2	4180	1	9637
3,9	40	2,9	20946	1,9	6080	0,9	11338
3,8	41	2,8	23951	1,8	6574	0,8	11349
3,7	46	2,7	14211	1,7	6279	0,7	9117
3,6	63	2,6	4324	1,6	6047	0,6	7670
3,5	73	2,5	1154	1,5	6071	0,5	7488
3,4	80	2,4	839	1,4	6110	0,4	7903
3,3	236	2,3	963	1,3	6539	0,3	9408
3,2	2192	2,2	1304	1,2	6980		
3,1	10969	2,1	2258	1,1	8255		



Efectivamente tenemos el fotopico en torno a **3 V** como queríamos que ocurriera al ajustar la ganancia. En primer lugar cabe destacar la 'anchura' de este fotopico cuando teóricamente esperamos una energía bien definida para los fotones emitidos por el Cesio. En segundo lugar, la aparición de fotones en el intervalo de energías correspondiente a voltaje entre **0 y 1.9 V** debidos a dispersión Compton.

Como sabemos, la energía de los fotones incidentes, es de **0.66 MeV**. Utilizando la fórmula 3 de la introducción teórica, la energía correspondiente al borde Compton (es decir, la máxima energía que puede ser transferida a un electrón en una única interacción Compton) es de **0.47 MeV**, correspondiente a un voltaje **2.1 V** (por la recta de calibrado que calcularemos más adelante con los fotopicos del Cesio y del Cobalto). En la práctica, este borde aparece en torno a **1.9 V**, claro que se ha medido el número de fotones en intervalo de energías correspondientes a un ancho de **0.1 V**.

Otra característica del diagrama es lo que llamamos 'pico de retrodispersión'. El valor teórico para esta energía está dado por la fórmula 2 y es **0.18 MeV**, correspondiente (de nuevo por calibrado) a **0.97 V**, lo cual concuerda bastante con el experimento. Bajando en voltaje, las cuentas se disparan. Esta cuenta excesiva de fotones se debe a lo que llamamos bremsstrahlung, es decir, al frenado de electrones, que se hace relevante en torno a **0.4 V**, correspondiente (en función de la recta de calibrado) a **0.04 MeV**.

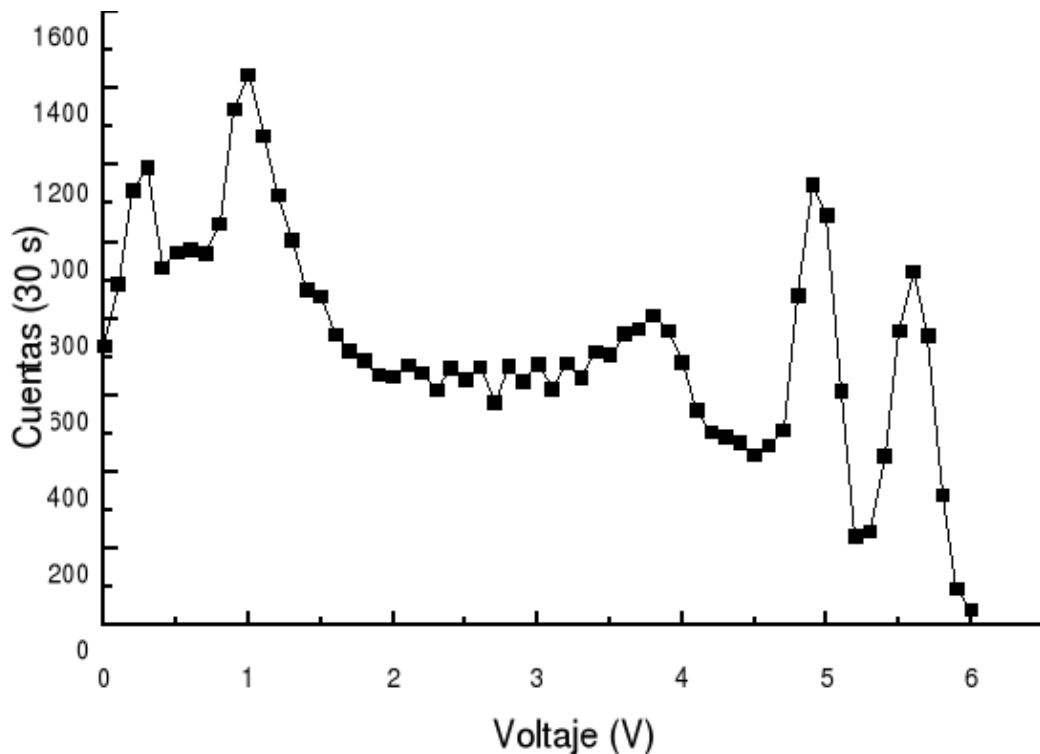
Dos cosas más acerca de las características de la gráfica, en concreto acerca del fotopico: por un lado, destacar la irregularidad en las medida del fotopico, donde se observa un defecto en el número de cuentas para voltaje **2.9 V**, que podría estar provocado por el tiempo muerto del detector (efecto tanto más importante cuanto mayor es el número de cuentas por unidad de tiempo); por otro lado, por la resolución del detector, en lugar de tener un valor único para el fotopico se obtiene una distribución campaniforme en torno al valor esperado. Más adelante evaluaremos la resolución del detector con los datos del ancho de la campana y la energía máxima.

b) Espectrometría para el ^{60}Co

En las mismas condiciones experimentales que para el Cesio, las medidas obtenidas con la muestra de cobalto fueron las siguientes:

Voltaje (V)	Cuentas (30 seg.)	Voltaje (V)	Cuentas (30 seg.)	Voltaje (V)	Cuentas (30 seg.)	Voltaje (V)	Cuentas (30 seg.)
6	40	4,4	476	2,9	636	1,4	875
5,9	96	4,3	492	2,8	676	1,3	1005
5,8	340	4,2	504	2,7	583	1,2	1122
5,7	756	4,1	561	2,6	674	1,1	1277
5,6	922	4	687	2,5	642	1	1437
5,5	768	3,9	769	2,4	672	0,9	1346
5,4	442	3,8	809	2,3	613	0,8	1048
5,3	244	3,7	774	2,2	658	0,7	970
5,2	232	3,6	760	2,1	679	0,6	979
5,1	611	3,5	706	2	649	0,5	973
5	1069	3,4	713	1,9	653	0,4	934
4,9	1151	3,3	645	1,8	690	0,3	1193
4,8	860	3,2	684	1,7	715	0,2	1136
4,7	510	3,1	617	1,6	759	0,1	891
4,6	469	3	682	1,5	859	0	729
4,5	443						

Representados en la siguiente gráfica:



donde se observan claramente los dos fotopicos del cobalto (en 5.6 V el más energético 1.33 MeV y en 4.9 V el de 1.17 MeV). Aquí de nuevo tenemos fotones dispersados por electrones (efecto Compton). Los valores teóricos de energía para el borde Compton calculados con la fórmula 3, 0.96 MeV y 1.11 MeV, que corresponden (recta de calibrado...) a voltajes 4.7 y 4 V respectivamente. El primero es difícil de observar pues queda muy cerca del segundo fotopico: ambos (fotopico y borde Compton están solapados). El segundo

aparece de nuevo desplazado a potenciales más bajos (como en el caso del Cesio).

[Nota: Todas las medidas se han hecho en intervalos de potencial de 0.1 V por lo que el intervalo que incluya el valor de borde Compton recibe menos cuentas que el siguiente en orden decreciente de potencial, ya que, en teoría, a la derecha del potencial correspondiente al borde no debe haber cuentas: en fin, que hay un error experimental de ± 0.05 V.]

En la zona intermedia entre borde Compton y pico de retrodispersión, observamos una fluctuación 'fuerte' de los datos experimentales. En realidad esta fluctuación no es más importante que en el caso del Cesio, lo que ocurre es que en aquel caso el número de cuentas era del orden de decenas de miles, y en este caso del orden de miles.

De nuevo el continuo de dispersión Compton presenta un pico de retrodispersión, en este caso muy acentuado porque los valores teóricos calculados para los dos picos del Cobalto con la fórmula 2 coinciden prácticamente: los valores de estos picos son **1.1 V** y **1.08 V**.

Por último, observamos que para los voltajes mas pequeños tenemos otro pico que rompe el continuo Compton. Este último pico puede deberse a la influencia de los materiales que rodean tanto al detector como la fuente. La radiación que surge de la muestra radiactiva puede interactuar con estos materiales y generar radiaciones secundarias que alcancen el detector.

2) Resolución y Recta de calibrado

• Recta de calibrado:

Como ya comentamos antes, construiremos la recta de calibrado, que nos dará las equivalencias entre energía teórica y voltaje experimental. Para ello, construimos la recta basándonos en los tres puntos correspondientes a los tres valores de la radiación de nuestras dos fuentes. Esos valores son:

^{137}Cs	$E_{\text{fotopico}} = 0.66 \text{ MeV}$	obtenida en el voltaje = 2.8V
^{60}Co	$E_{\text{fotopico}} = 1.17 \text{ MeV}$	obtenida en el voltaje = 4.9V
^{60}Co	$E_{\text{fotopico}} = 1.33 \text{ MeV}$	obtenida en el voltaje = 5.6V

Datos de la recta de calibrado:

Coefficiente de correlación : $r = 0.9999$

Ordenada en el origen : $a = -0.0611 \pm 0.0003 \text{ (MeV)}$

Pendiente: $b = 0.249 \pm 0.003 \text{ (MeV/V)}$

• Resolución

Calculamos la resolución hallando la relación entre el ancho de los picos a la altura media de la curva y su altura.

En el caso del cobalto, calculamos la resolución con el primer fotopico, porque el segundo se ve afectado por efecto Compton del primero.

Calculamos la resolución por voltaje, y después por energía:

Muestra	Voltaje del pico (V)	Anchura a $N_{\text{max}}/2$ (V)	Resolución
---------	------------------------	------------------------------------	------------

¹³⁷ Cs	2.9	0.41	14%
⁶⁰ Co	5.6	0.33	6%

Muestra	Energía del pico(MeV)	Anchura a Nmax/2 (MeV)	Resolución
¹³⁷ Cs	0.66	0.1	15%
⁶⁰ Co	1.33	0.08	6%

$$\Delta\lambda = \lambda_c(1 - \cos\theta)$$

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{2h\nu}{m_0c^2}}$$

$$E_{e^-} = h\nu \frac{\frac{2h\nu}{m_0c^2}}{1 + \frac{2h\nu}{m_0c^2}}$$

f.1

f.2

f.3