

Interacción de partículas beta con la materia

Cedric Prieels

Noviembre 2016

Resumen

Esta práctica consistía en estudiar el espectro en energía y la interacción de partículas β con la materia. Primero, se estudió la forma del espectro de las β emitidas por una fuente de ^{137}Cs , para intentar ver las diferentes partes que componen este espectro : la suma de dos curvas continuas de altura diferente, y algunos picos debidos a conversiones internas. Después, estudiamos como cambia este espectro cuando ponemos metales de diferentes tipos y espesores entre la fuente y el detector, y intentamos ajustar a este espectro una función.

1. Introducción teórica

El espectro teórica del ^{137}Cs está muy bien conocido hoy en día, y se representa en la figura (1). Tiene dos curvas principales, que tienen cada una una altura y un máximo diferentes, y se pueden en general observar dos picos debidos a conversiones internas, en 624 y 656 keV.

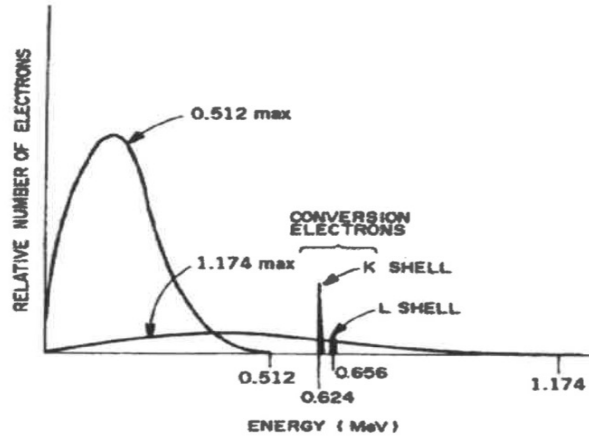


Figura 1: Espectro teórico de las partículas β emitidas por una fuente de ^{137}Cs .

Se puede demostrar que el espectro se puede modelizar con la expresión relativamente sencilla siguiente

$$N(KE_e) = C \sqrt{KE_e^2 + 2KE_em_ec^2} \cdot (Q - KE_e)^2 \cdot (KE_e + m_ec^2) \cdot F(Z', KE_e) \quad (1)$$

siendo KE_e la energía cinética del electrón, Q la energía necesaria para equilibrar la reacción de producción de este electrón, m_ec^2 una constante y $F(Z', KE_e)$ la función de Fermi, que se puede calcular fácilmente mediante el uso de la relación (2), donde A y B se pueden considerar constantes si fijamos el valor de Z :

$$F(Z', W) = \left(A + \frac{B}{W - 1} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Esta expresión (1) es valida solamente si la energía medida E es menor que Q (porque Q corresponde al limite superior en la energía cinética de los electrones).

2. Resultados obtenidos

Para realizar está práctica, teníamos dos detectores a nuestra disposición. Se eligió para las medidas el detector que tenía la tensión de bias más alta (del orden de 198V), para tener una zone de depleción más grande (lo que es interesante para partículas β , mucho más penetrantes que partículas α).

En el laboratorio, lo primero que hicimos ha sido medir un espectro de control de fondo, durante 20 minutos. Después, medimos directamente el espectro de la fuente de ^{137}Cs durante 10 minutos, antes de repetir diferentes medidas de 10 minutos cada vez, poniendo diferentes metales entre la fuente y el detector, para estudiar la atenuación de las partículas β . Por fin, estudiamos la atenuación poniendo siempre el mismo metal (aluminio) entre el la fuente y el detector, pero cambiando cada vez el espesor del aluminio.

Después, empezamos a estudiar el espectro de las partículas β emitidas por la fuente de ^{137}Cs , después de atravesar diferentes tipos de metales (que tienen por supuesto cada uno un valor de Z y un espesor másico diferente) : aluminio, cobre, plata y oro. Las características de cada lámina que teníamos están representadas en la tabla 1.

Lámina	Material	Z	Tamaño (cm)	Peso (mg)	Densidad (g/cm^3)	Grosos (Δx) (cm)	Espesores másicos ($\Delta \xi$) (g/cm^2)
1a	Al	13	2,5 x 4,0	4,270	2,78	$1,54 \cdot 10^{-4}$	$4,28 \cdot 10^{-4}$
2a	Cu	29	2,5 x 2,8	10,615	8,96	$1,69 \cdot 10^{-4}$	$1,51 \cdot 10^{-3}$
3a	Ag	47	2,5 x 3,5	19,310	10,49	$2,10 \cdot 10^{-4}$	$2,20 \cdot 10^{-3}$
4a	Au	79	2,5 x 3,0	17,735	19,30	$1,23 \cdot 10^{-4}$	$2,37 \cdot 10^{-3}$

Cuadro 1: Las 4 láminas disponibles en el laboratorio

En la tabla número 2, se representan los resultados obtenidos en esta primera parte (cuentas totales, cuentas totales y netas de los dos picos de conversión interna, y posición de cada pico de conversión interna).

Lámina	Cuentas totales	Cuentas totales de los 2 picos	Cuentas netas de los 2 picos	Posición pico 1 (canal)	Posición pico 2 (canal)
1a	59729 ± 244	3886 ± 62	3538 ± 65	161	169
2a	53838 ± 232	3783 ± 62	3379 ± 65	160	168
3a	50135 ± 224	3802 ± 62	3338 ± 68	160	168
4a	39799 ± 199	3528 ± 59	3132 ± 63	160	168

Cuadro 2: Resultados obtenidos con láminas de metales diferentes

Se ve en este última tabla que las cuentas dependen del valor de Z de la lámina considerada (confirme la intuición, pero hay que estar cuidado en este caso porque las láminas tienen espesores diferentes, lo que influye también). Podemos también observar que la posición de los picos debidos a conversiones internas cambia muy poco (porque estamos considerando partículas β , y no α). Se representan en las figuras (2) y (3) los espectros obtenidos para el aluminio, y para el oro.

En la segunda parte de la práctica, estudiamos el espectro obtenido después de que las β atraviesen una lámina de aluminio, da espesor másico diferente cada vez.

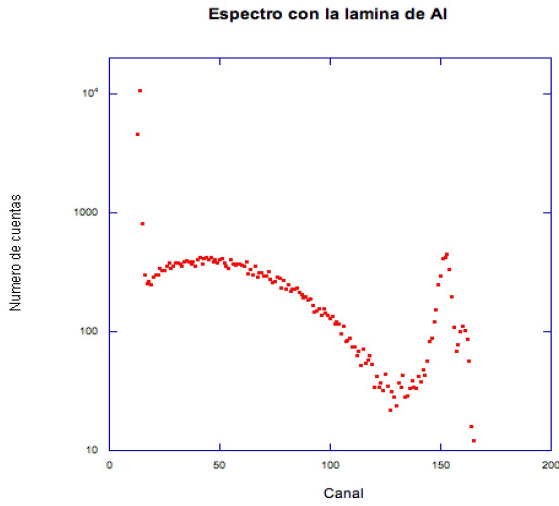


Figura 2: Espectro obtenido con la lámina 1a de aluminio.

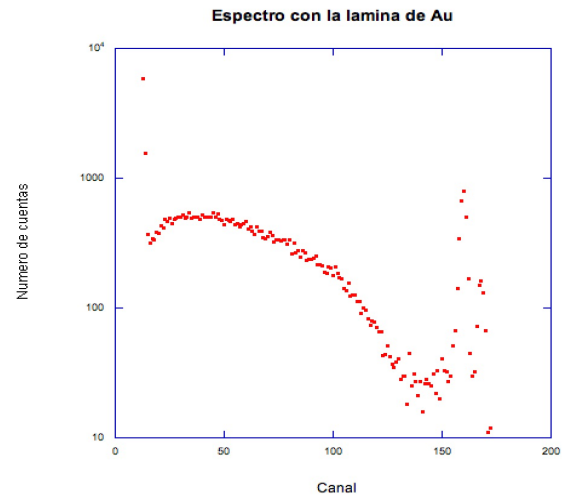


Figura 3: Espectro obtenido con la lámina 4a de oro.

Lámina	Material	Z	Densidad (g/cm^3)	Espesores másicos ($\Delta\xi$) (mg/cm^2)
1b	Al	13	2,78	3,8
2b	Al	13	2,78	13,51
3b	Al	13	2,78	25,67
4b	Al	13	2,78	31,07
5b	Al	13	2,78	43,23
6b	Al	13	2,78	64,84
7b	Al	13	2,78	94,57
8b	Al	13	2,78	216,16

Cuadro 3: Diferentes láminas de aluminio disponibles en el laboratorio

En la tabla 4, se representan los resultados obtenidos para cada lámina (cuentas totales, cuentas totales y netas de los dos picos de conversión interna, y posición de cada pico de conversión interna).

Lámina	Cuentas totales	Cuentas totales de los 2 picos	Cuentas netas de los 2 picos	Posición pico 1 (canal)	Posición pico 2 (canal)
1b	52560 ± 229	3812 ± 62	3287 ± 66	159	166
2b	38325 ± 196	3868 ± 62	3388 ± 66	156	164
3b	31729 ± 178	3809 ± 62	3239 ± 66	153	160
4b	24356 ± 156	3290 ± 57	2169 ± 66	150	159
5b	21151 ± 145	3498 ± 59	2775 ± 65	148	156
6b	13716 ± 117	2639 ± 51	1412 ± 62	137	Un solo pico visible
7b	9052 ± 95	2930 ± 54	1819 ± 64	122	Un solo pico visible
8b	2222 ± 47	196 ± 14	93 ± 17	115	Un solo pico visible

Cuadro 4: Resultados obtenidos con láminas de aluminio de espesores diferentes

En las figuras (4) y (5) se representan los espectros obtenidos para las láminas más finas (izquierda) y más gorda (derecha). Se ve claramente que cuando aumentamos el espesor de la lámina, el número total de cuentas y la altura de los picos de conversión interna bajan, y estos dos picos se desplazan hacia la izquierda. Este fenómeno es visible, pero no tan marcado como en la práctica de partículas α , lo que significa que en este caso la pérdida de energía es mucho más débil.

Ahora intentamos por fin ajustar la función teórica (1) a nuestro espectro. Para esto, el primer paso consistía a calibrar el detector para encontrar la formula que nos permite calcular una energía a partir de un canal del detector. Esto se hace con los dos picos de conversión interna, porque conocemos bien la energía del máximo de estos picos, y no son demasiados anchos, y imponiendo que al ajuste lineal pase por el punto (0,0). El resultado se enseña en la figura (6).

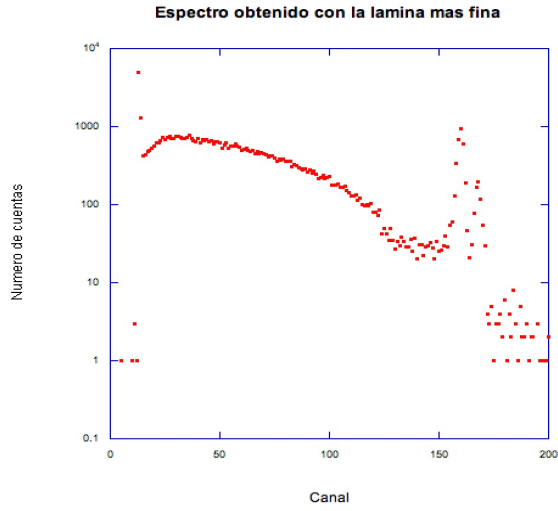


Figura 4: Espectro obtenido con la lámina *1a* de aluminio.

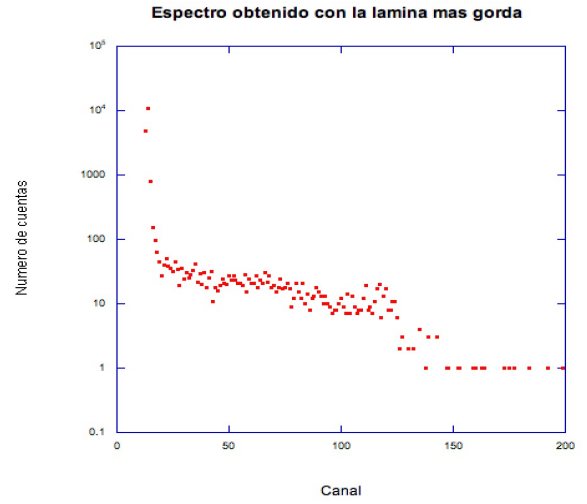


Figura 5: Espectro obtenido con la lámina *4a* de oro.

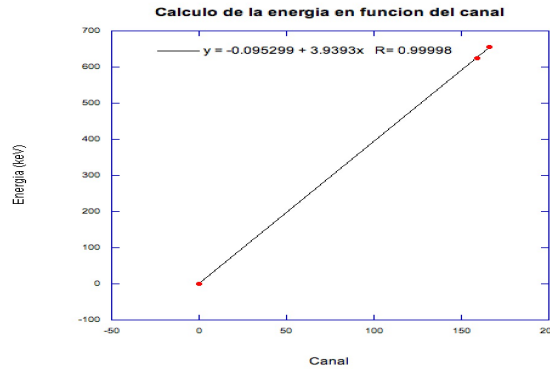


Figura 6: Calibración del detector usando los picos de conversión interna

Una vez hecha la calibración, empezamos la parte del ajuste. Tomamos como valores de A y B en la ecuación (2) respectivamente 25.201 y 23.667, y usamos W en unidades de $m_e c^2$.

Se calculan primero cada factor que aparece en (1) para las dos contribuciones teniendo en cuenta que, como dicho antes, esta formula es valida solamente cuando la energía considerado es menor que la Q de la reacción y por lo tanto, imponemos que la segunda contribución se anule cuando la energía es mayor que 512 keV (en la figura (1), se ve que este punto es el punto aproximado donde la primera curva se anula). Para pintar las dos contribuciones, normalizamos primero la integral en todo el rango de energía de cada curva a 1. Este primer resultado se enseña en la figura (7).

Después, nos interesa comparar nuestra distribución teórica con los puntos experimentales medidos. Para este comparación, tenemos primero que sumar las dos contribuciones obtenidas antes (teniendo en cuenta que tienen un peso diferente, del 5 y del 95 %). Tenemos también que multiplicar nuestros puntos experimentales por un factor que no conocemos, y que está compuesto de dos factores diferentes : el primero sería algo así como la actividad de la muestra, para sacar el número total de betas emitidas por unidad de tiempo, y el segundo es la eficiencia del detector, que consideramos en este caso constante. Este resultado se enseña en las figuras (8) y (9) (para la lámina más fina y la lámina más gorda).

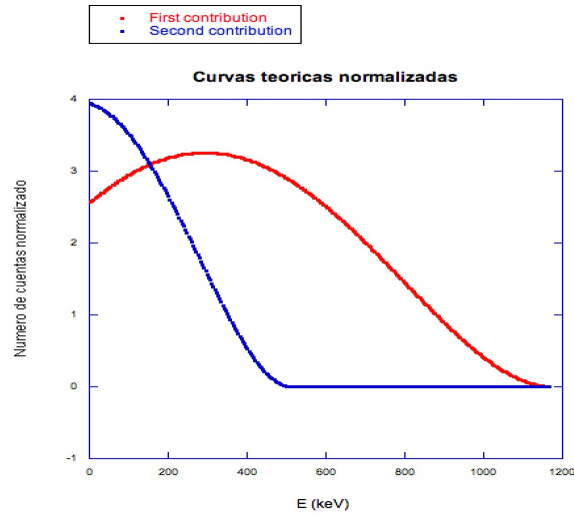


Figura 7: Dos contribuciones al espectro normalizadas de tal manera que la integral en todo el rango de energía sea 1.

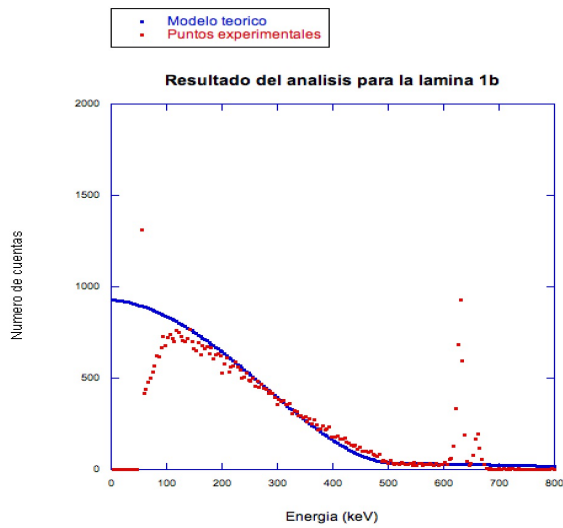


Figura 8: Resultado final por la lámina fina, después de multiplicar cada contribución por su peso y el número de cuentas por un factor 240.

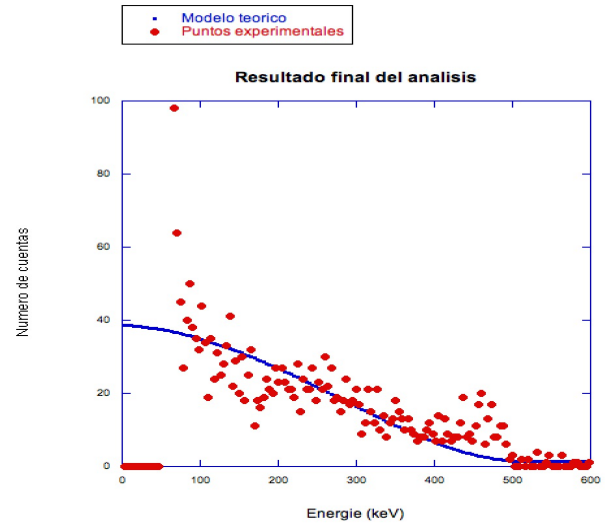


Figura 9: Resultado final por la lámina gorda, después de multiplicar cada contribución por su peso y el número de cuentas por un factor 10.

3. Conclusiones

En conclusión, esta práctica nos permitió estudiar más en detalle el espectro de emisión de los electrones en el decaimiento de tipo β . Primero, hemos podido reproducir el espectro teórica de la figura (1). Después, estudiamos la atenuación de estos electrones, poniendo primero diferentes metales y después hojas de aluminio de diferentes espesores entre la fuente radiactiva de ^{137}Cs y el detector. Hemos podido observar el desplazamiento característico de los picos de conversión interna hacia la izquierda (aunque por supuesto, este fenómeno es mucho menos claro que con partículas α).

Por fin, hemos ajustado a dos espectros obtenidos una función teórica para ver si podíamos reproducir las observaciones experimentales. Este objetivo ha sido cumplido introduciendo un factor de escala a mano en cada caso, que tiene en cuenta diferentes factores como la actividad de la muestra y la eficiencia del detector, que no conocemos en este caso. El factor así obtenido vale 240 en el caso de la lámina de aluminio más fina ($3,8\text{mg/cm}^2$) y 10 en el caso de la lámina más gorda ($216,16\text{mg/cm}^2$).