

TECNICAS EXPERIMENTALES V

(Curso 2010-2011)

Práctica 5

DESINTEGRACION BETA: INTERACCION DE RADIACION BETA CON LA MATERIA

Resumen: Estudiamos la interacción de la radiación beta (electrones) con la materia, para determinar su alcance másico R y su coeficiente másico de absorción μ (aproximadamente independientes del medio material considerado). Tanto R como μ dependen exclusivamente del espectro de la radiación beta considerada, y se conocen leyes empíricas relacionando dichas cantidades físicas con la energía máxima del espectro E_{\max} . Como cada emisor beta está caracterizado por un valor de E_{\max} , la medida de (R, μ) permite estudiar la E_{\max} asociada así como la naturaleza del emisor. El experimento se completa con la medida del espesor másico de una lámina problema.

1. Introducción

En el decaimiento β^- de un núcleo radiactivo, un neutrón se transforma en un protón, y se emiten un electrón (β^-) y un antineutrino ($\bar{\nu}$). La energía liberada en la desintegración, determinada por la diferencia de masas entre los núcleos inicial y final, se reparte entre las dos partículas emergentes. De esta forma, los electrones emitidos por una población de núcleos radiactivos tienen una distribución continua de energía, que está caracterizada por su valor máximo E_{\max} . En cada desintegración, la energía de la partícula β^- emitida, será la diferencia entre la E_{\max} y la correspondiente energía cinética del antineutrino. Las energías cinéticas de las partículas β^- están entre cero y 3-5 MeV .

Las partículas β^- interactúan fuertemente con la materia, y en general, pueden frenarse completamente después de atravesar aproximadamente 1 cm de material en estado sólido. Los electrones al atravesar un material, al observarlos por ejemplo en emulsiones fotográficas, no presentan una trayectoria rectilínea, sino que se mueven en zigzag. Esto es debido a los bruscos cambios producidos por las interacciones con los núcleos. La energía perdida por la partícula β^- produce excitación e ionización de los átomos, y también, para las más energéticas, radiación de frenado (o *bremsstrahlung*) al ser dispersadas por los núcleos.

Si se interponen diferentes espesores de un material en un haz de radiación β^- , el número de electrones que atraviesan el material va disminuyendo gradualmente al incrementar el espesor. Se observa un decaimiento exponencial que es debido a una combinación de factores, tales como el espectro continuo del emisor beta y los mecanismos de dispersión de los electrones en el material absorbente. Así, si inciden N_0 electrones en un medio material, el número de electrones $N(x)$ que consiguen atravesar un espesor lineal x , viene dado por

$$N(x) = N_0 e^{-\Sigma x} , \quad (1)$$

donde Σ es el coeficiente lineal de atenuación, y se suele medir en cm^{-1} . El coeficiente Σ depende de E_{\max} y el medio atravesado, y la dependencia del medio se traduce en una relación aproximada: $\Sigma \propto \rho$, siendo ρ la densidad. Por otro lado, el alcance lineal (máximo recorrido lineal en un medio) X también depende de E_{\max} y el medio atravesado, con $X \propto 1/\rho$. Dichas dependencias en la densidad son aprovechadas para trabajar con cantidades más apropiadas. Estas son el espesor másico $\xi = \rho x$ (p.ej., en mgr/cm^2) y el coeficiente de absorción másico $\mu = \Sigma/\rho$ (p.ej., en cm^2/mgr). Ahora es evidente que μ solo depende E_{\max} (al dividir el coeficiente lineal por la densidad, hemos eliminado la dependencia del medio), y como $\Sigma x = \mu \xi$, tenemos una nueva versión de la ley (1):

$$N(\xi) = N_0 e^{-\mu \xi} . \quad (2)$$

Hay una relación empírica $\mu = \mu(E_{\max})$, que fue obtenida por Gleason en 1951. Dicha relación es

$$\mu = 0.017 E_{\max}^{-1.43} , \quad (3)$$

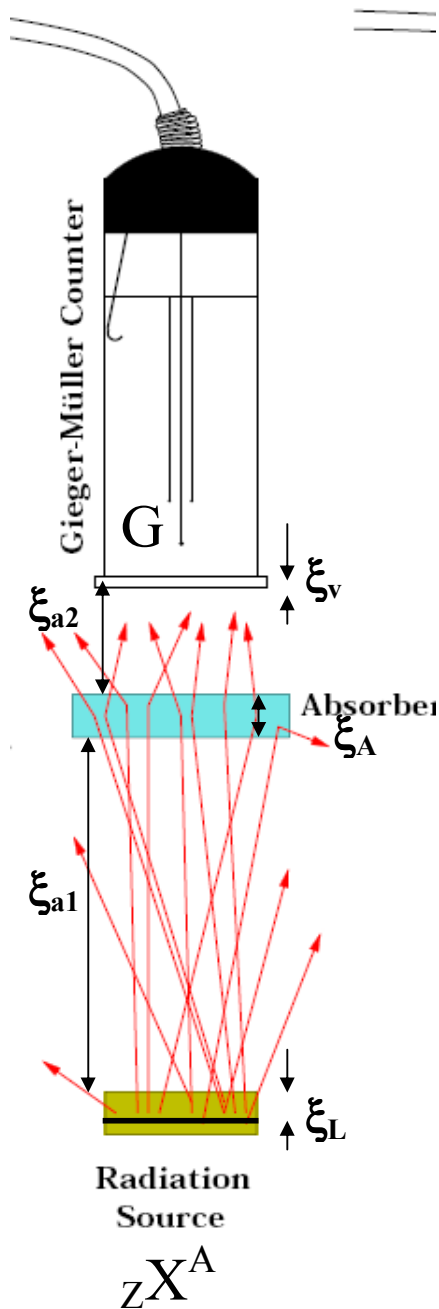


Figura 1.- Configuración experimental. En la parte inferior se observa una fuente circular de radiación β^- (línea negra gruesa horizontal). El haz de electrones emitidos, primeramente se atenúa al atravesar la cápsula que protege la fuente (disco verde), con espesor ξ_L . Entonces debe atravesar regiones de aire, que en nuestro esquema son dos (espesores ξ_{a1} y ξ_{a2}). También debe atravesar la ventana del detector Geiger (espesor ξ_v), que evita el escape del gas G en su interior. Cuando se coloca un absorbente de aluminio (Al), aparece un espesor variable ξ_A . El funcionamiento de un contador Geiger es simple: cuando un electrón alcanza el gas G dentro del detector (cilindro en la parte superior), ioniza dicho gas. Finalmente se produce una avalancha de carga y el correspondiente impulso eléctrico. Así, un contador digital registra una cuenta (impulso eléctrico) por cada electrón que alcanza el interior del tubo Geiger.

donde μ está en cm^2/mgr y E_{max} está expresada en MeV. También el alcance másico $R = \rho X$ depende exclusivamente de E_{max} , conociéndose algunas relaciones empíricas útiles. Por ejemplo, la de Flammersfeld:

$$R = 0.11 [(1 + 22.4 E_{\text{max}}^2)^{1/2} - 1] \quad , \quad (4)$$

con el alcance en gr/cm^2 y la energía máxima en MeV ($E_{\text{max}} < 3 \text{ MeV}$).

2. Experimento

En el experimento de la Figura 1, en un tiempo de conteo t , la fuente emite N_0 electrones con energía máxima característica E_{max} . Según la ecuación (2), los electrones que alcanzan el detector, N_{Geiger} (y por lo tanto, el número de cuentas asociadas que registra el contador, C), serán:

$$C = N_{\text{Geiger}} = N_0 e^{-\mu \xi_L} e^{-\mu \xi_{a1}} e^{-\mu \xi_A} e^{-\mu \xi_{a2}} e^{-\mu \xi_V} \quad . \quad (5)$$

Por otro lado, las cuentas totales que se registran son (redefiniendo $C_0 = N_0$ y $\xi = \xi_L + \xi_{a1} + \xi_A + \xi_{a2} + \xi_V$)

$$C(\xi) = C_0 e^{-\mu \xi} + F \quad , \quad (6)$$

donde F son las cuentas del “fondo radiactivo”. Dicho fondo es debido a radiación en el laboratorio, rayos cósmicos, etc, que no podemos evitar y que estará presente aún en ausencia de la muestra radiactiva (ver los resultados experimentales en la Figura 2, donde se estudia la atenuación de radiación beta en Al). Para analizar los resultados del experimento en la UC, dividimos los contajes $C(\xi)$ por el nivel de fondo F , y luego tomamos logaritmos neperianos. Es decir, mediante la ecuación (6), construimos la relación básica

$$y = \ln[C(\xi)/F] = \ln[1 + (C_0/F)e^{-\mu \xi}] \quad . \quad (7)$$

Mediante la ecuación (7), es claro que para espesores de Al razonablemente pequeños (cuando el haz de electrones que atraviesa los medios domina el conteo) $y = \alpha - \mu \xi$, con $\alpha = \ln(C_0/F)$. También es claro que para espesores suficientemente grandes, dominará el fondo y tendremos $y = 0$. Por consiguiente, podemos hacer un gráfico de los valores medidos de y frente a los espesores másicos totales ξ (también conocidos). Para $\xi < R$, debemos observar una ley lineal descendente, mientras que para $\xi > R$, se apreciará un comportamiento ruidoso en torno a $y = 0$. Dependiendo del experimento concreto, también es posible observar una región de transición entre ambas tendencias. La idea central de la práctica es ajustar el comportamiento lineal descendente para determinar los valores de α y μ . Tras realizar el ajuste por mínimos cuadrados, se debe extrapolar la ley obtenida hasta el punto de corte con el eje ξ ($y = 0$) y medir el alcance, es decir, $R = \alpha/\mu$ (ver presentación TEV_2011).

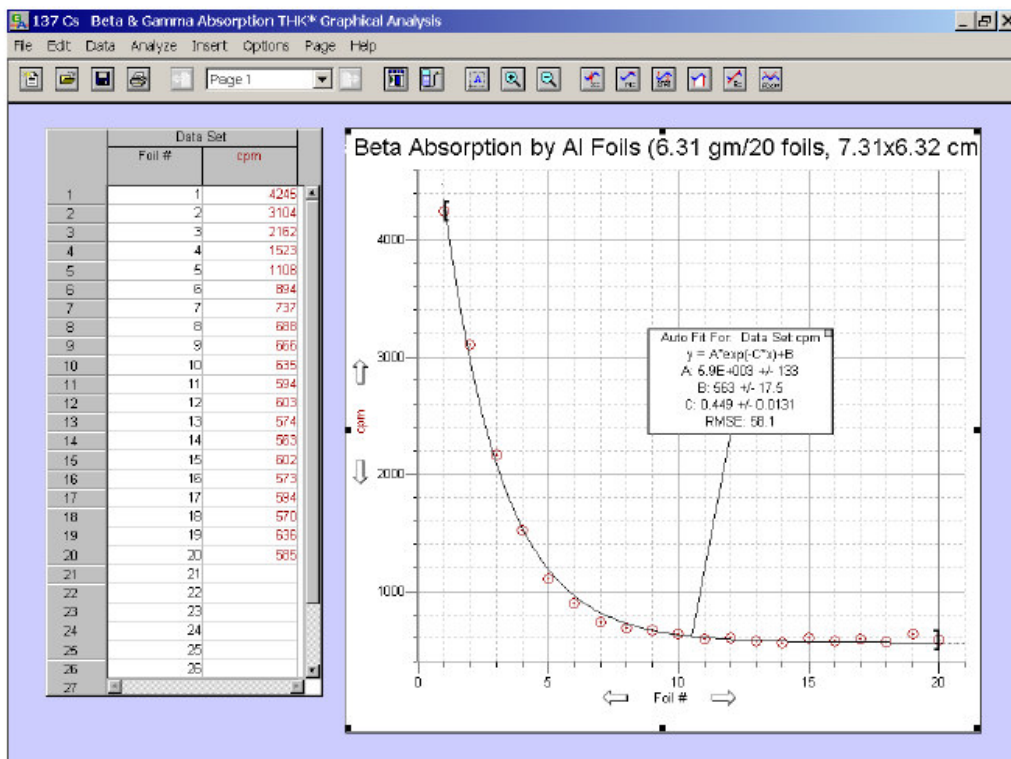


Figura 2.- Atenuación de radiación beta en láminas de Al. Se observa una ley exponencial más una constante, de modo que no podemos alcanzar un nivel de cuentas 0, a pesar de haber colocado un gran número de láminas de aluminio frente a la muestra radiactiva. Se llega a un contejo constante (que se aprecia claramente entre las láminas 15 y 20) representando el fondo F del laboratorio en el cual se realizó el experimento.

3. Realización de la práctica y objetivos específicos

- Medir la distancia entre el soporte de la muestra y el detector, y usar la densidad del aire en condiciones normales (1.293 mgr/cm^3) para estimar el espesor másico de aire $\xi_a = \xi_{a1} + \xi_{a2}$. Teniendo en cuenta que el espesor de la ventana del detector PHYWE es $\xi_v = 2.5 \text{ mgr/cm}^2$ y que la lámina que encapsula la fuente tiene un espesor $\xi_L = 3.80 \text{ mgr/cm}^2$, estimar el espesor total en ausencia de láminas de Al (ver Figura 1).
- Colocando la lámina de Al con espesor cero, realizar 3 medidas de fondo (sin fuente alguna) de $t = 100 \text{ seg}$ cada una (siempre haremos contejos de 100 seg). Calcular el fondo promedio (F) y estimar su rango de variabilidad.
- Colocar uno de los emisores beta y realizar contejos consecutivos, aumentando el espesor de la lámina de Al en cada contejo (empezar con espesor cero, aumentar paulatinamente el espesor sin saltarse ninguna de las láminas disponibles, y parar el experimento cuando se haya alcanzado el contejo de fondo para al menos 3 láminas gruesas). En los cambios de lámina, tener cuidado con no tocar la ventana del detector, ya que podría desestabilizar el sistema de detección y provocar algún contejo anómalo.

- d) Pedir al profesor una(s) lámina(s) de papel. Colocar la(s) lámina(s) problema en el porta-láminas (sin lámina de Al adicional) y realizar un conteo final de 100 seg.
- e) Repetir los apartados (c) y (d) con un nuevo emisor beta.
- f) Construir dos tablas, una para cada fuente beta, incorporando la siguiente información (en columnas): espesor másico de Al, espesor másico total ξ (ambos en mgr/cm^2), conteo asociado $C(\xi)$ y conteo normalizado y .
- g) Construir dos figuras (una para cada fuente) mostrando el comportamiento $y = y(\xi)$. En cada figura, discutir las regiones que se aprecian (ξ lineal descendente?, ξ transición?, ξ plana?) y ajustar la región lineal descendente. Presentar los parámetros medidos con su correspondiente error.
- h) Usar cada medida de μ para estimar la energía máxima del espectro beta correspondiente. ¿Qué errores relativos formales se obtienen en las medidas E_{max} ?
- i) Determinar el alcance para cada fuente de radiación beta, y estimar las energías máximas E_{max} y sus errores. Para cada fuente, tenemos dos determinaciones de E_{max} , una vía el coeficiente de absorción y otra vía el alcance. Teniendo en cuenta los errores formales, ¿son consistentes ambas medidas?. Si no es así, calcula la media de ambas y estima un error más realista.
- j) Sabiendo que los emisores beta utilizados en esta práctica son algunos de los siguientes: C^{14} , Cl^{36} , Sr^{90} - Y^{90} y Tc^{99} , construye una tabla con sus correspondientes periodos T y valores de E_{max} (según Tablas de Isótopos). Teniendo en cuenta la información tabulada para las cuatro fuentes candidatas y las medidas realizadas en el laboratorio, discute que especie nuclear constituye cada una de las dos fuentes usadas en la experiencia.
- h) Estimar el espesor másico de la lámina problema, discutiendo (pero no calculando) que tipo de errores se cometen en dicha aplicación práctica del experimento: medida de espesores de materiales.

4. Bibliografía

- *Física III (Fundamentos cuánticos y estadísticos)*, M. Alonso y E. J. Finn (1971)
- *Radioisotope Experiments in Physics, Chemistry and Biology*, J.B. Dance (1973)
- *Física cuántica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas*, R. Eisberg y R. Resnick (1978)
- *Introduction to Nuclear Physics*, Addison-Wesley, H. Enge (1974) [Tabla Isótopos]
- *Table of Isotopes, vols. I and II*, eds. R. B. Firestone y V. S. Shirley (1996)
- *Radiation Detection and Measurement*, G. F. Knoll (1979)
- *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*, W. R. Leo (1987)
- *Nuclear Radiation Detection*, W. J. Price (1958)
- *Prácticas de Física Nuclear*, M. Shaw y A. Willliart (1993)
- *Beta-and Gamma-Ray Spectroscopy*, ed. K. Siegbahn (1955)