

Caracterización de un contador Geiger. Absorción de radiación por materiales

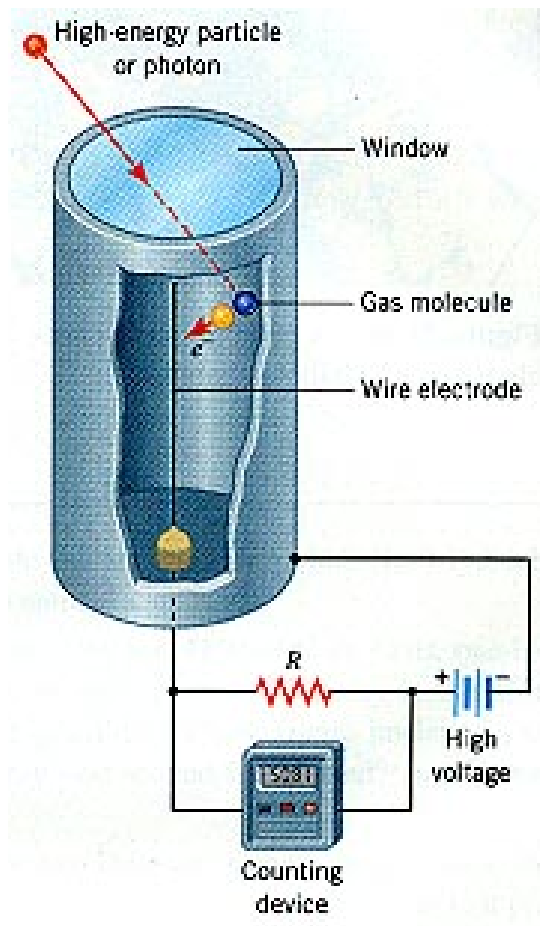
Física Nuclear y de Partículas y Estructura Nuclear

1.- Curva de respuesta del contador Geiger

Un contador Geiger-Müller es un dispositivo que permite detectar radiaciones ionizantes. Los iones producidos por dichas radiaciones al atravesar el volumen activo del detector son acelerados por un campo eléctrico, produciendo un pulso de corriente que señala el paso de radiación. Si la intensidad de campo eléctrico es demasiado pequeña, no se produce pulso alguno, y si es demasiado alta se produce una descarga continua incluso en ausencia de radiación.

Descripción del detector

Los electrones y positrones serán detectados mediante un contador Geiger-Müller. Se trata de un dispositivo que permite detectar radiaciones ionizantes. Los iones producidos por dichas radiaciones al atravesar el volumen activo del detector son acelerados por un campo eléctrico, produciendo un pulso de corriente que señala el paso de radiación.



En la primera parte de esta práctica se estudia la respuesta de un contador Geiger en función de la tensión aplicada entre sus electrodos, y se determina la tensión mínima de trabajo, la zona proporcional, el plató o zona de respuesta constante con la tensión de trabajo, y la zona de descarga continua.

Procedimiento

1. Se coloca una fuente radioactiva, preferentemente ^{204}Tl a una distancia de alrededor de 5-10 mm del detector, y se comprueba el correcto funcionamiento del contador, fuente de alimentación variable, etc. A una tensión de 500 V deben leerse unas 100 cuentas por segundo. Utilizar el voltímetro (escala de 2000 mV o 2 V) para leer la tensión del tubo ($U_{\text{tubo}} / 1000$).
2. Se disminuye la tensión de alimentación poco a poco hasta que no se aprecie ninguna cuenta. Este valor corresponde a la tensión *umbral* del detector.

3. A partir de la tensión umbral, se aumenta la tensión de trabajo y se mide el número de cuentas durante un periodo de un 45 segundos para cada valor de la tensión, hasta llegar al límite de tensiones que puede generar la fuente de alimentación (si se produce una descarga continua debe disminuirse la tensión de alimentación). Se toman unos 30 valores, especialmente en las zonas de mayor interés.
4. Se visualizan en el osciloscopio las señales proporcionadas por el detector y se estima el **tiempo muerto** (cuya definición se da en el punto 4 del siguiente apartado) del tubo. Comprobar si dicho tiempo muerto varía con la tensión del tubo.

Tareas para esta parte de la práctica

A partir de esta parte de la práctica se debe poder:

1. Representar la curva de respuesta del detector (cuentas por minuto frente a tensión de trabajo) con los datos experimentales y su error estadístico (raíz cuadrada del número de cuentas). Incluir las barras de error correspondientes al eje y.
2. Determinar el valor de la tensión umbral e indicar en la curva de respuesta la zona proporcional, la de plató y la tensión umbral de descarga (si es posible). Determinar la pendiente de la zona del plató.
3. Describir brevemente el funcionamiento del detector justificando la forma de la curva de respuesta obtenida.

Tiempo muerto: Después de producirse una descarga tras el paso de radiación ionizante, el detector no es sensible a nueva radiación hasta que el campo eléctrico vuelve a los valores iniciales. Este periodo de tiempo se denomina *tiempo muerto*. El equipo de contaje electrónico también tarda un tiempo finito en realizar la medida, contribuyendo al tiempo muerto total del sistema. Determinar el tiempo muerto de nuestro sistema detector + equipo de contaje a partir de las señales observadas en el osciloscopio.

2.- Absorción de radiación por diversos materiales

En la desintegración de núcleo de ^{137}Cs se emiten tanto radiaciones γ como electrones (β^-). Las radiaciones β^- , muy poco penetrantes, son detenidas por unos pocos centímetros de aire o un cartón grueso, mientras que las radiaciones γ atraviesan varios centímetros de plomo. Intentaremos determinar el porcentaje de cada tipo de radiación, comparando la absorción a través de diferentes materiales.

Procedimiento para medir la absorción por diversos materiales

1^{er} procedimiento (obligatorio)

Las partículas que provienen de la muestra emisora (fotones o e^+) en cuanto interactúan con materia interpuesta entre la muestra y el detector son absorbidas y ya no van a parar al mismo. Dado un material, cada tipo de partícula “i” de la radiación tendrá una probabilidad por unidad de longitud de interactuar, llamada coeficiente de atenuación lineal, μ_i . La atenuación de cada tipo de radiación al pasar por un espesor x de material

viene dada por $\frac{I^i}{I_0^i} = e^{-\mu_i x}$, con I_0^i la intensidad que entra en el material absorbente, e I^i la que se observa a la salida. Por tanto, podemos escribir

$I_t = I^\gamma + I^\beta = I_0^\gamma e^{-\mu_\gamma x} + I_0^\beta e^{-\mu_\beta x}$, siendo μ pequeño en el caso de la radiación γ y bastante grande para β , $\mu_\gamma \ll \mu_\beta$. Queremos medir μ_γ , y con tal fin vamos a eliminar la componente β , que resulta completamente absorbida tras interponer 2 mm de cualquiera de los materiales que manejaremos. Usaremos los datos correspondientes a espesores mayores para ajustar $\ln[I(x)]$ a una recta.

El procedimiento experimental es el siguiente: medimos el número de cuentas a través de 1, 2, etc. láminas de cada material (de 2 mm de grosor) en varios minutos (por ejemplo 2 minutos cuando el número de cuentas por minuto es mayor de 300, 4 minutos cuando es mayor que 100, etc.). Corregimos estas cuentas substrayendo el fondo. Escalamos los resultados a cuentas por minuto (cpm). Se deben realizar estas medidas para plomo, PVC, aluminio y acero.

Cuando se tiene sólo la componente de rayos gamma, se cumple $I_t = I^\gamma = I_0^\gamma e^{-\mu_\gamma x}$, $\ln(I_t) = \ln(I^\gamma) = \ln(I_0^\gamma e^{-\mu_\gamma x}) = \ln(I_0^\gamma) - \mu_\gamma x$ de modo que la ordenada en el origen y la pendiente nos proporcionarán los datos de I_γ . Si no se interpone material entre fuente y detector, la intensidad vale $I_t = I^\gamma + I^\beta = I_0^\gamma + I_0^\beta$, así que restando a este valor el valor de I_0^β ya tenemos I_0^γ . Para estimar el valor del coeficiente μ_β podemos usar los datos correspondientes a los espesores menores (los primeros mm), restándoles I_0^γ (que es lo que vale muy aproximadamente I^γ para espesores tan pequeños) y ajustando a una exponencial.

2^o procedimiento (optativo)

Se dispone de varias láminas delgadas de acetato (de 0.1 mm de espesor), prácticamente transparentes a la radiación γ , pero capaces de detener parte de la radiación β . Para grosores pequeños de acetato se tiene muy aproximadamente: $I_t = I_0^\gamma + I_0^\beta e^{-\mu_\beta x}$.

Derivando respecto a x : $\frac{dI_t}{dx} = -\mu_\beta I_0^\beta e^{-\mu_\beta x}$. Esta expresión para dI_t / dx no depende de I_0^γ .

1. Mide el número de cuentas acumuladas durante 1 minuto con una lámina de acetato entre el detector y la fuente, que han de estar separados por una distancia aproximada de 1 cm. Resta a este número de cuentas las que esperas debido al fondo de radiación (basándote en la medida hecha al comienzo de la práctica).
2. Repite el paso anterior con 2,3,4,5 y 6 láminas de acetato.

Tareas

1^{er} procedimiento (obligatorio)

1. Construye una tabla de x , I_t para el plomo (I en cpm, **recuerda siempre que has de restar el fondo** para tener cpm correspondientes a la fuente). Representa gráficamente $\ln(I)$ frente a x , incluyendo las barras de error en el eje y .
2. De la gráfica anterior deduce, mediante un ajuste de regresión lineal a los datos adecuados, I_0^γ , μ_γ , y su error.
3. Obtén I_0^β / I_0^γ y su error. Compara este valor con el esperado teóricamente (buscar en la tabla de isótopos los correspondientes *branching ratios*).
4. La eficiencia del detector para rayos γ y partículas β puede no ser la misma. A partir de la diferencia entre I_0^β / I_0^γ experimental y teórico, deriva el cociente (y su error) entre las eficiencias del detector para los dos tipos de radiación.
5. Haz una tabla del número neto de cuentas γ por minuto (I_γ) frente a espesor de material para acero, plomo, PVC y aluminio. Recuerda que se supone que la radiación β^+ es detenida por completo en los primeros 2 mm de material.

6. Representa logaritmo de I_γ frente a espesor de material, con lo cual se obtienen varias líneas rectas, una para cada material, que se deben cortar todas en el mismo punto del eje y ($x = 0$) correspondiente a I_0^γ . A partir de las pendientes de las rectas de regresión lineal calcula el coeficiente de atenuación μ_γ (con su error) para los distintos materiales.

7. Este coeficiente está ligado a las propiedades de interacción del material con la radiación γ , y a partir de él se puede conocer la sección eficaz total de absorción y dispersión. Concretamente μ (probabilidad por unidad de longitud de que interactúe un fotón) es proporcional al producto del número de electrones que hay por unidad de longitud y de área transversal, N_e , por la probabilidad de que el fotón vea alterada su trayectoria por interactuar con un electrón, P_{int} . P_{int} es igual a la suma de secciones eficaces totales (correspondientes a los procesos de producción de pares, dispersión Compton y fotoeléctrico),

$P_{int} = \sigma_{Fotoeléctrico} + \sigma_{Compton} + \sigma_{Pares} = \sigma_{total}$, mientras que N_e es el producto del número N de átomos de absorbente por unidad de volumen por el número de electrones por átomo, Z , $N_e = N \cdot Z$, por lo que se tiene:

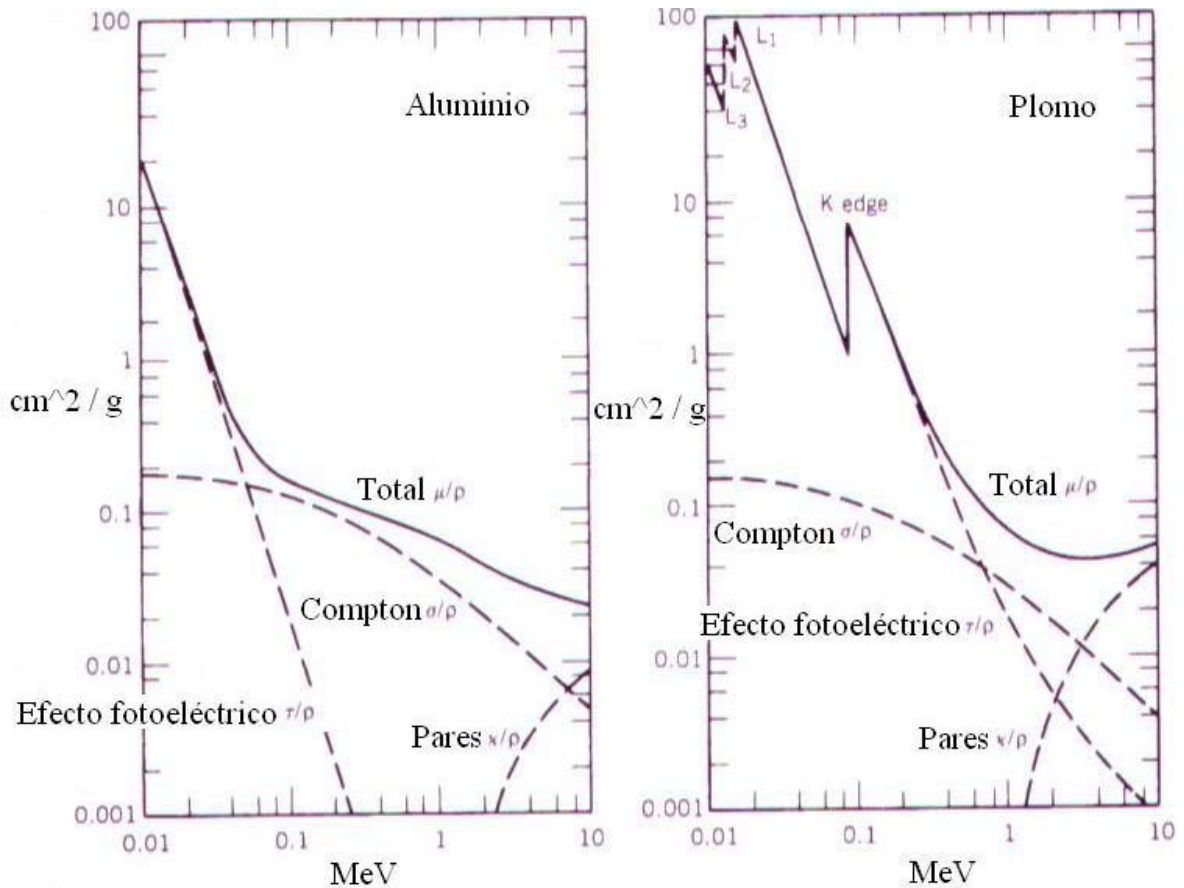
$$\mu = N_e \cdot \sigma_{total} = Z \cdot N \cdot \sigma_{total} = Z \cdot N \cdot (\sigma_{Fotoeléctrico} + \sigma_{Compton} + \sigma_{Pares}) = Z \cdot N \cdot \sigma_{Fotoeléctrico} + Z \cdot N \cdot \sigma_{Compton} + Z \cdot N \cdot \sigma_{Pares} = \tau + \sigma + \kappa$$

Deriva de los datos medidos las secciones eficaces totales para el aluminio, plomo, PVC y acero.

8. Calcula, a partir de los coeficientes obtenidos (dados en cm^{-1}), los coeficientes de atenuación másicos (dados en cm^2g^{-1}) de las 4 sustancias, resultado de dividir

por la densidad, μ_i / ρ_i (datos: $\rho_{Pb} = 11.38 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{Al} = 2.70 \text{ g/cm}^3$,

$\rho_{Acero} = 7.86 \text{ g/cm}^3$ y $\rho_{PVC} = 1.42 \text{ g/cm}^3$). Estos coeficientes tienen mayor interés, ya que no dependen del estado (sólido, líquido, gas) de la sustancia que atenúa. Compara en los casos del aluminio y del plomo con los datos tabulados, resumidos en las siguientes gráficas (véase [3], página 203):



Coefficientes de atenuación másica para fotones, iguales a los coeficientes lineales de atenuación divididos por la densidad (así son coeficientes de valor común a cualquier estado del material) para los tres procesos en Al y Pb.

2º procedimiento (optativo)

9. Construye una tabla de x , I_t , dI_t / dx para el acetato (I en cpm). Representa gráficamente $\ln(I)$ y $\ln(dI_t / dx)$, frente a x , incluyendo las barras de error en el eje y.
10. De la gráfica anterior deduce, mediante un ajuste de regresión lineal, I_0^β , μ_β , y su error.
11. Compara los resultados obtenidos para I_0^γ , e I_0^β con lo que obtuviste en el primer procedimiento.

Notas:

1. Da el valor y el error para las magnitudes determinadas en esta práctica.

2. Alternativamente al cálculo de la derivada numérica, puedes utilizar alguno de los programas disponibles en el laboratorio (por ejemplo gnuplot) para ajustar los datos a la función $I_t = I_0^\gamma + I_0^\beta e^{-\mu_\beta x}$ y determinar así los valores de μ , I_0^γ e I_0^β .

Referencias

- [1] K.S. Krane, *Introductory Nuclear Physics*, John Wiley (1988). Páginas 277 a la 283.
- [2] Glenn F. Knoll, *Radiation detection and measurement*, John Wiley (1989).
- [3] W. R. Leo, *Techniques for Nuclei and Particle Physics Experiments*, Springer-Verlag (1994).
- [4] E. Lehderer y C. Shirley, *Table of Isotopes*, Firestone.

Enlaces útiles para cualquier práctica de Física Nuclear

- Buscar una desintegración radiactiva : <http://nucleardata.nuclear.lu.se/database/nudat>
- Entrada general a la base de datos anterior : <http://nucleardata.nuclear.lu.se>