PRÁCTICA 9. ATENUACIÓN DE RAYOS γ

Objetivo

Diferenciar las radiaciones α, β y γ emitidas en la desintegración radiactiva de los núcleos según sus respectivas distancias de penetración y verificar la ley de atenuación de la radiación γ.

Fundamento teórico

Los núcleos atómicos no estables se desintegran espontáneamente emitiendo partículas que pueden clasificarse en dos grupos: partículas cargadas (α y β) y partículas neutras(n y γ). De todas ellas, las únicas partículas sin masa son las γ (radiación electromagnética). Cuando la radiación emitida por un núcleo atraviesa un material la distancia que viaje dentro de ese material va a depender de su carga y de su masa. Si la partícula está cargada va a interaccionar eléctricamente con las partículas también cargadas que constituyen los átomos del material que atraviesan, cumpliéndose que a mayor carga menor distancia de penetración. Si la partícula tiene masa, también es más probable que interaccione con la materia porque ocupa más espacio; por lo tanto, también aquí a mayor masa menor distancia de penetración.

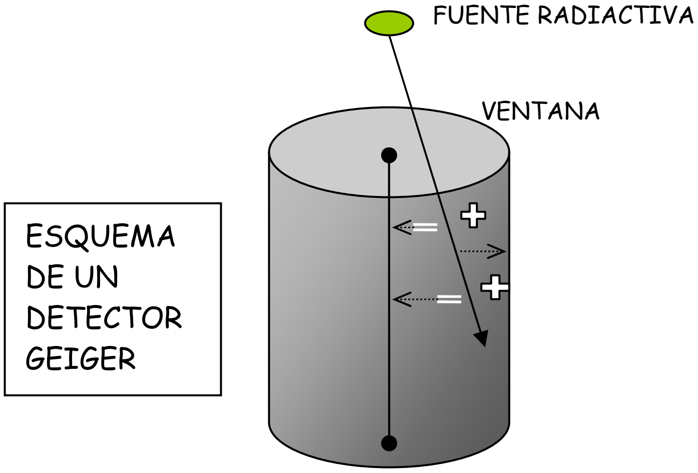
Teniendo en cuenta que las partículas α son núcleos de He, que las β son electrones o positrones y que la radiación γ no tiene ni carga ni masa, éstas últimas tendrán la mayor distancia de penetración seguidas a distancia por las β y, finalmente, las α que son absorbidas rápidamente por el aire.

En el caso de la radiación γ, al no tener carga, si N_0 partículas atraviesan un material de espesor x caracterizado por un coeficiente de atenuación μ se verifica la ley de atenuación exponencial:

donde N es el número de $N = N_0 e^{-\mu x}$, partículas que han conseguido pasar.

Método experimental

Disponemos de un detector Geiger-Müller para contar las partículas emitidas por la fuente radiactiva. Un detector de este tipo consiste de una cámara cilíndrica rellena de una gas cuyas moléculas se ionizan cuando una partícula choca con ellas. A lo largo del eje del cilindro se sitúa un hilo metálico que actúa de cátodo por lo que cuando existe una diferencia de potencial entre el cátodo y la superficie del cilindro los aniones viajarán hacia el eje y los cationes hacia la superficie. De esta forma es posible detectar la ionización que se ha producido en el interior y, por lo tanto, a la partícula causante.



En un detector las partículas emitidas por la fuente radiactiva entran por la *ventana* del detector, pensada para que la radiación la pueda atravesar. En nuestro caso, vamos a situar delante de la misma, como se muestra en la figura, una fuente radiactiva de ^{226}Ra. La medida de la fuente nos proporciona un número de cuentas (A) que corresponden al número de partículas que han chocado con las moléculas del gas. Para poder obtener de este número el número de partículas emitidas por la fuente es necesario conocer la eficiencia y el fondo del sistema.

La eficiencia del detector (ε) es la probabilidad de que la partícula sea detectada y depende del tipo de partícula, siendo mayor la correspondiente a la radiación α precisamente por ser la que tiene menor distancia de penetración, o sea, la que con más probabilidad choca con las partículas del gas hasta perder toda su energía. De manera que, el número de partículas detectadas (número de cuentas en el contador) corresponderá a $A = N \cdot \varepsilon$.

Los detectores de radiación poseen un fondo característico debido a la radiación natural de los materiales que rodean a la cámara de gas. Este fondo genera un número de cuentas que no proceden de la fuente, por lo tanto, que hay que substraer a las medidas que se realizan con el detector. Sólo de esta manera estaremos seguros de que las cuentas proceden sólo de la fuente. Por lo tanto, lo primero que vamos a hacer es determinar ese fondo (F). Para ello, realizamos una medida de 10 minutos con el detector sin colocar ninguna fuente.

A continuación vamos a identificar la radiación emitida por la fuente de la que disponemos. Para ello, vamos a medir la fuente de ^{226}Ra a diferentes ángulos fuente-detector con y sin el campo magnético proporcionado por dos imanes entre los que tiene que pasar el flujo de partículas emitidas por la fuente. El tiempo de cada medida es de 2 minutos. Substraed el fondo ambiental a cada medida (tened en cuenta que el fondo debe ser el correspondiente a 2 minutos) e interpretad el resultado. A continuación, repetid lo mismo situando delante del detector una lámina de acero (o aluminio) de 1 mm de espesor. De estas medidas tenéis que deducir, basándoos en el efecto que tiene un campo magnético sobre el movimiento de una partícula cargada que se encuentre en su seno, qué tipo de radiación es la que llega al detector cuando se sitúa la lámina de acero delante. Realizad el dibujo con todos los vectores de las magnitudes implicadas en el cambio de dirección de las partículas cargadas.

Con la fuente de radiación γ, vamos a comprobar que se verifica la ley de atenuación exponencial. Para ello vamos a realizar una serie de medidas de la fuente de ^{226}Ra, siempre en la misma posición y manteniendo la lámina de acero. Tras la lámina de acero se irán colocando sucesivamente láminas de plomo de 2 mm de espesor. Realizaremos medidas con 0, 1, 2, 3, 4 y 5 láminas de manera que el espesor de plomo (x) sea de 0, 2, 4, 6, 8 y 10 mm. El tiempo de medida es de **5 minutos**. Para cada espesor obtendremos un valor de *A*, el número de cuentas medidas, que corresponde al número de fotones que han atravesado la lámina y que posteriormente han chocado con las moléculas del detector. Recordad que es necesario, una vez medido cada *A*, substraer el fondo del detector correspondiente al tiempo en el que se ha medido *A*.

<u>**Análisis de los resultados**</u>

Las medidas de radiactividad cuando el número de cuentas es suficientemente alto permiten de una sola determinación estimar la incertidumbre del valor obtenido. Para ello se tiene en cuenta que la distribución de probabilidad de los resultados es gaussiana:

$$p(N_c) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N_c - \overline{N_c})^2}{2\sigma^2}},$$

y que en ese caso $\sigma = \sqrt{\overline{N_c}}$. Además, se considera que el resultado de la medida es una buena aproximación del valor medio: $N_c = \overline{N_c}$. Es decir, que si el valor del número de cuentas obtenido de la medida es *A*, el resultado expresado con la incertidumbre es $N_c \pm \sqrt{N_c}$.

Antes de comenzar con el tratamiento estadístico de los datos obtenidos en el experimento de transmisión de la radiación gamma, justificad los resultados obtenidos en la primera parte de la práctica teniendo en cuenta las propiedades de carga y masa de la radiación emitida por la fuente. De acuerdo con ellos, ¿por qué podemos suponer que la única radiación que se mide en la segunda parte, o sea, en el experimento de atenuación, es gamma?

Como los resultados correspondientes a las medidas de la radiación γ deben verificar la ley de atenuación exponencial, se puede ajustar una línea recta tomando logaritmo neperiano en la ley de atenuación:

$$\ln N = \ln N_0 - \mu x .$$

Y considerando que N=N$_c$/ε:

$$\ln N_c(x) = \ln N_c(0) - \mu x$$

Para el ajuste de esta recta $y = ax + b$ se tendrán en cuenta las incertidumbres de *A*, para ello se utilizarán las fórmulas siguientes:

$$a = \frac{1}{\Delta}\left(\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^{n} \frac{y_i x_i}{\sigma_i^2} - \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^{n} \frac{y_i}{\sigma_i^2} \right)$$

$$b = \frac{1}{\Delta}\left(\sum_{i=1}^{n} \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^{n} \frac{y_i}{\sigma_i^2} - \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^{n} \frac{y_i x_i}{\sigma_i^2} \right)$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} - \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{\sigma_i^2} \right)^2$$

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{\Delta}\left(\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\sigma_i^2} \right)$$

$$\sigma_b^2 = \frac{1}{\Delta}\left(\sum_{i=1}^{n} \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} \right)$$

La bondad del ajuste puede ser estimada mediante el cálculo del estadístico χ^2 :

$$\chi^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\sigma_i^2} (y_i - a x_i - b)^2$$

Para n=6, valores de χ^2 menores de 1,94 indican que la recta reproduce el comportamiento de los datos, o sea, que el resultado del ajuste de la recta es aceptable. Si esto es así, la pendiente de la recta nos sirve para obtener el coeficiente de atenuación μ característico de cada material. Valorad en este caso la calidad del ajuste. Si este es aceptable, calculad el coeficiente de atenuación con su incertidumbre