

PRACTICA 4: DETECTORES DE CENTELLEO.

ABSORCIÓN DE RADIACIÓN GAMMA

4.1. INTRODUCCIÓN

La espectroscopía de radiación gamma constituye la aplicación más importante de los detectores de centelleo.

Cuando una partícula cargada o radiación electromagnética atraviesa ciertas sustancias luminiscentes, pierde energía excitando a los átomos de la sustancia, lo que da lugar a la emisión de luz visible o ultravioleta. Dicha luz puede alcanzar el cátodo de una fotocélula suficientemente sensible, de la que se desprenden electrones, por efecto fotoeléctrico, resultando un impulso eléctrico en respuesta a la llegada de la partícula o fotón.

Este es el principio básico de funcionamiento de un detector de centelleo.

Los detectores de centelleo están formados por dos partes fundamentales: *la sustancia luminiscente y el fotomultiplicador*. La primera es capaz de absorber energía de la radiación y reemitirla en forma de fotones de longitud de onda visible o ultravioleta. El fotomultiplicador, es en esencia, una célula fotoeléctrica muy sensible que es capaz de producir un impulso de tensión cuando sobre él incide un impulso de radiación luminosa.

Las sustancias luminiscentes pueden ser fluorescentes o fosforescentes, según que la emisión de luz se realice respectivamente, en un intervalo de tiempo de 10^{-8} s o menor, después de haber absorbido la energía del impulso o tarde más en realizar la emisión de luz. En la detección de radiaciones nucleares son interesantes únicamente las primeras. Para que se produzca un destello visible, los fotones tienen que tener una frecuencia que corresponde al espectro visible.

Las condiciones que deben cumplir las sustancias luminiscentes son:

- a) Deben tener una gran eficacia de absorción de la energía de la partícula a detectar.
- b) Gran eficacia de conversión de dicha energía a energía luminosa.

- c) Deben tener una gran transparencia.

El fotomultiplicador es una célula fotoeléctrica muy sensible en la que pueden distinguirse tres partes: el fotocátodo, los dinodos y el ánodo, (fig. 4.1).

El fotocátodo es una lámina, muchas veces plana o tronco cónica de un material fotosensible, que está colocada en la parte plana del fotomultiplicador y cuya misión es emitir electrones por efecto fotoeléctrico cuando incide sobre él radiación electromagnética de longitud de onda apropiada. Suele estar compuesto de capas muy finas de Sb y Cs, que presenta una gran sensibilidad para la radiación electromagnética emitida en el proceso de centelleo por la mayoría de sustancias luminiscentes.

Los electrones expulsados por el fotocátodo son dirigidos hacia los dinodos por estar estos conectados a tensiones crecientes desde el cátodo al ánodo, lo que se consigue con el divisor de tensión. Estos electrones inciden sobre el primer dinodo con una determinada energía que dependerá del campo en que se ha encontrado, esto es, de la tensión aplicada entre ambos electrodos. según sea esta energía, arrancarán del mismo un número de electrones mayor o menor al que ha llegado. Se produce así un efecto de multiplicación de carga que se repite en los sucesivos dinodos, ya que el fenómeno es idéntico. Así pues, si M es el factor de multiplicación entre dos dinodos, la amplificación total es M^n , donde n es el número de dinodos que contiene el tubo.

El fotomultiplicador tiene a la salida un preamplificador sensible a carga que da impulsos cuya amplitud es proporcional a la carga recogida por el ánodo del fotomultiplicador. Esta a su vez es proporcional a la energía dejada por la partícula. Se puede hacer por tanto espectrometría en cuanto clasifiquemos los impulsos por su amplitud, o sea, por la energía de las partículas que la produjeron. Para posterior tratamiento de impulsos es necesario amplificarlos en un sistema analógico. La función más importante del amplificador es la de conservar la información energética durante el proceso de amplificación. Posteriormente los impulsos pasan a un sistema de recuento (como en este caso), o bien a un circuito convertidor analógico digital (como en prácticas posteriores), proporcionando la posibilidad de acumulación y posterior análisis de datos obtenidos.

Este tipo de detectores tiene una gran aplicación para espectrometría de γ y β , aunque en esta práctica sólo lo utilizaremos de contador. Se utilizan además para el caso en que se tengan que medir muestras de gran actividad, debido a que, por las características de la detección, el tiempo de resolución es muy corto.

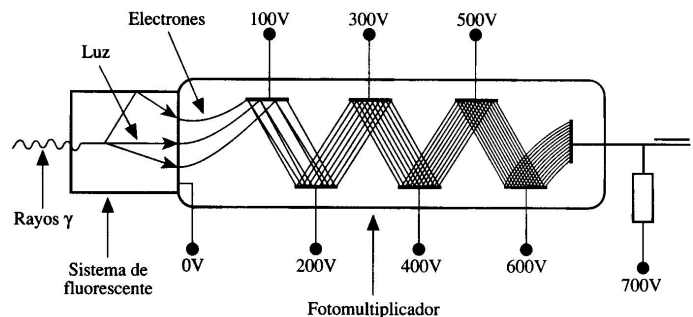


Figura 4.1. Esquema básico de un detector de Centelleo

4.2. INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CON LA MATERIA

La radiación electromagnética interacciona con la materia según tres procesos bien conocidos:

- a) *Efecto fotoeléctrico* donde el fotón gamma desaparece en la interacción cediendo la totalidad de su energía a un electrón atómico.

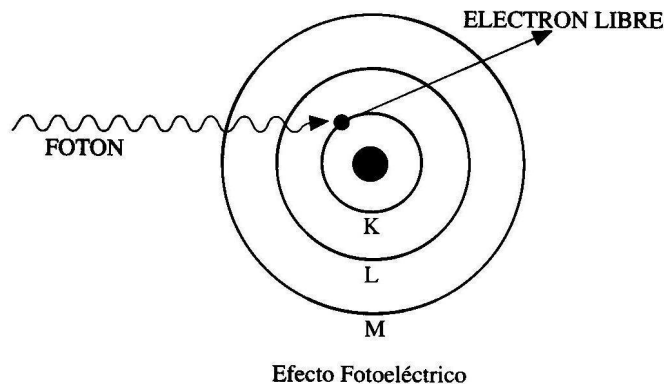


Figura 4.2. Efecto fotoeléctrico

- b) *Efecto Compton* donde el fotón cede parte de su energía a un electrón, emitiéndose además otro fotón de energía igual a la diferencia entre la del fotón primario y la del electrón.

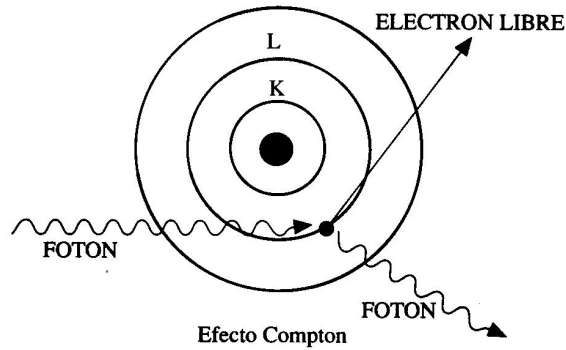


Figura 4.3. Efecto Compton

- c) *Creación de pares*, proceso en el que un fotón de energía superior a 1,02 MeV desaparece y se convierte en un par electrón - positrón.

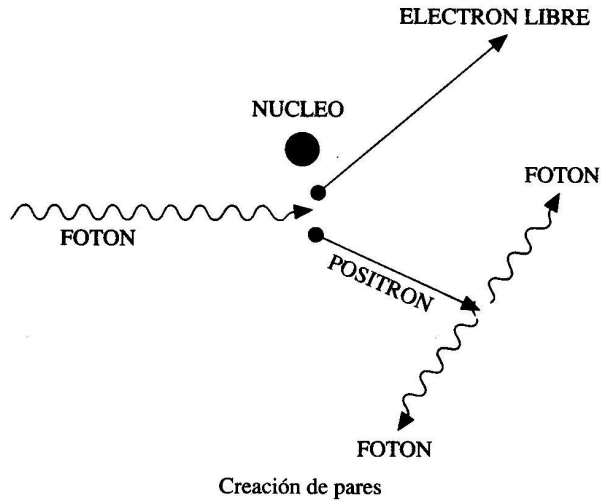


Figura 4.4. Creación de pares

En los detectores de radiación electromagnética de este tipo, cuando trabajan como contadores, dotados únicamente de una escala de conteo, se cuentan todos los impulsos que llegan al detector, sin especificar de qué proceso vienen, por lo tanto no se puede determinar en qué proporción aparece cada fenómeno.

4.2.1. ABSORCIÓN EN LA MATERIA

Mientras que las partículas α y β pierden energía continuamente, los rayos γ se absorben o dispersan en una sola interacción. La probabilidad de que un rayo gamma sea absorbido por la materia, es por tanto proporcional al espesor del material atravesado. Esto explica la ley exponencial que presenta la absorción de un haz de rayos gamma bien colimado. En efecto, supongamos una fuente puntual, monoenergética de rayos gamma de intensidad I que sufre al atravesar un fino espesor de absorbente dx , un decrecimiento dI , entonces la fracción de intensidad absorbida dI/I es proporcional al espesor dx , o sea:

$$dI/I = -\mu dx \quad (1)$$

donde μ es la constante de proporcionalidad llamada coeficiente de absorción lineal, o sección eficaz macroscópica de absorción (cm^{-1}). Integrando la ec. (1):

$$I = I_o \times e^{-\mu x} \quad (2)$$

I_o es la intensidad inicial y x es el espesor en cm.

El espesor del absorbente suele darse en mg/cm^2 . Si x_m representa el espesor másico, la ecuación (2) puede ponerse de esta otra forma más interesante:

$$I = I_o \cdot e^{-\mu' x_m}$$

siendo μ' el coeficiente de absorción másico, que se define como $\mu' = \mu/\rho$ (cm^2/g), y ρ la densidad del material absorbente. De esta manera μ' depende únicamente de las propiedades atómicas del absorbente y no explícitamente de su densidad.

Se llama *espesor de semirreducción* de un material, al espesor del mismo necesario para reducir la radiación inicial a la mitad. Se representa por $X_{1/2}$.

Haciendo en (2) $I/I_o = 1/2$, obtenemos

$$X_{1/2} = \ln 2 / \mu$$

Esta expresión es muy parecida a la del periodo de semidesintegración ($T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$) y puesto que $1/\lambda$ es la vida media, se puede denominar análogamente a $1/\mu$ como el recorrido libre medio de un rayo gamma. Esto no debe confundirse con el alcance de las partículas cargadas. Las partículas cargadas de una determinada energía tienen todas el mismo alcance, sin embargo los rayos gamma no son absorbidos en el total de su trayectoria a través del absorbente, presentando una curva de absorción exponencial.

Se aprecia una diferencia de comportamiento de la radiación electromagnética y las partículas cargadas: en estas basta interponer un absorbente de espesor ligeramente superior al alcance de las partículas más energéticas presentes en el haz, para absorberlo completamente, mientras que en el caso de los rayos gamma se requerirá un espesor infinito para el mismo objetivo.

Las muestras radiactivas que utilizamos también son emisoras β , pero estas partículas quedan absorbidas enseguida en el material absorbente.

El coeficiente de atenuación total μ , es la suma de los coeficientes de atenuación para los tres tipos de interacciones mencionadas anteriormente, o sea

$$\mu = \mu_f + \mu_p + \mu_c$$

siendo:

μ_f de absorción fotoeléctrica.

μ_c de dispersión Compton.

μ_p de producción de pares.

Teniendo en cuenta que $\Sigma = \mu = \sigma N$, aplicándolo a la absorción, podemos escribir: $\Sigma_a = \mu_a = \sigma_a N$, siendo σ_a la sección eficaz microscópica de absorción (cm), resulta que midiendo el coeficiente de atenuación lineal de un material y conociendo N (número de átomos por cm^3 del material absorbente) se puede determinar la sección eficaz total σ , que será parte del objeto de esta práctica.

La variación del coeficiente de atenuación con la energía para el aluminio ($Z = 13$) y el plomo ($Z = 82$) puede verse en la fig. 4.5. Es muy ilustrativo comparar

los coeficientes de absorción másico para varios absorbentes. La fig. 4.6 muestra el coeficiente de absorción másico μ en función de la energía para plomo y la fig. 4.7 para aluminio.

Estas curvas pueden usarse para determinar la energía de la radiación gamma de un radioisótopo. Una vez calculada μ' , la energía de la radiación gamma puede leerse de la curva correspondiente al absorbente utilizado.

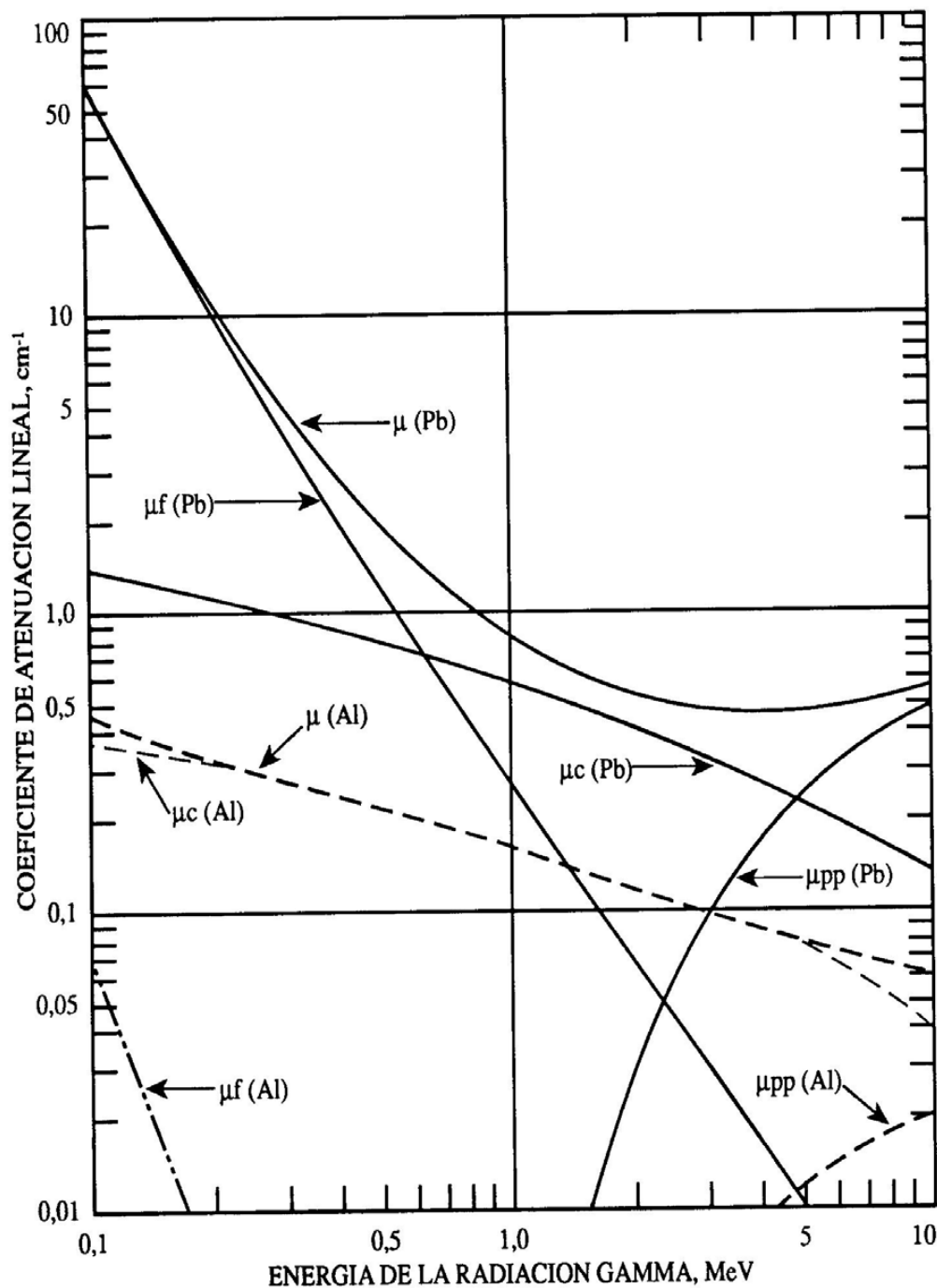


Figura 4.5. Coeficiente de atenuación lineal vs. energía (Al y Pb)

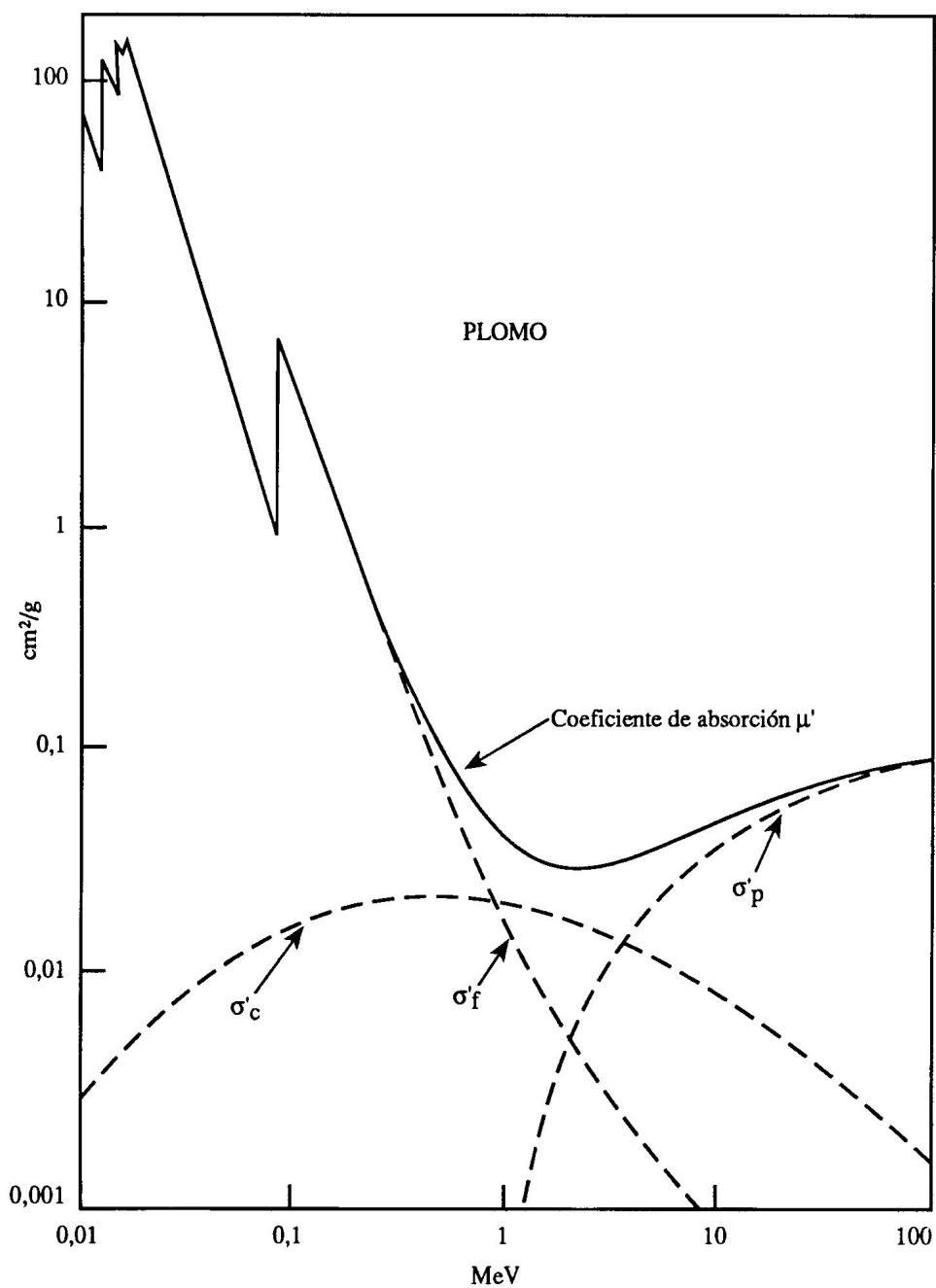


Figura 4.6. Coeficiente de absorción másico vs. energía (Pb)

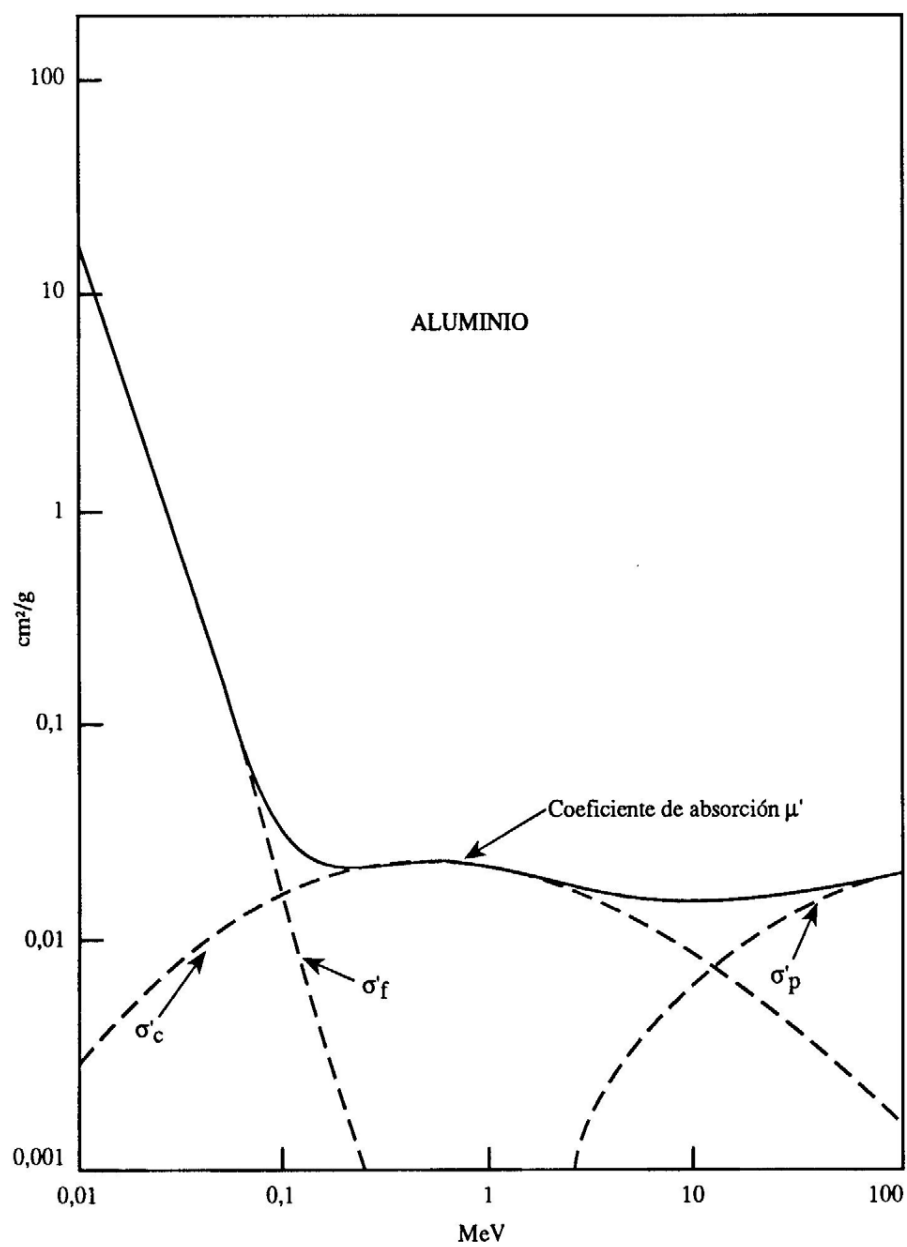


Figura 4.7. Coeficiente de absorción másico vs. energía (Al)

4.2.2. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

1. Demostración de la absorción de la radiación gamma por los distintos materiales.
2. Determinación de las curvas de absorción en función del material interpuesto.
3. Cálculo de los espesores de semirreducción de materiales para un determinado radionucleido.
4. Determinación de los correspondientes coeficientes de absorción lineal y másico.
5. Verificación de la ley exponencial de absorción.
6. Determinación de la eficiencia del contador.

MODO DE OPERAR

- a) Aumente la alta tensión del detector hasta situarse en la tensión de trabajo. Pregunte al profesor cuál es la tensión de trabajo que corresponde a su detector. No la sobrepase. Deje que se estabilice unos minutos.
- b) Mida el fondo durante 90 s.
- c) Coloque la muestra radiactiva y acumule durante 90 s, para disminuir las fluctuaciones estadísticas.
- d) Sin modificar la posición de la muestra, interponga el absorbente de menor espesor.
- e) Repita el punto d) hasta haber puesto todos los que quepan, en orden creciente.
- f) Represente en escala semilogarítmica los datos obtenidos, colocando en abcisas los espesores y en ordenadas cuentas obtenidas.
- g) Dibuje una línea recta que se ajuste lo más posible a los puntos representados excepto el punto obtenido para espesor 0.
- h) Extrapole la línea recta hasta el eje de ordenadas y determine el número de cuentas para un espesor cero.

CÁLCULOSELEMENTO ABSORBENTE:

- Contaje para “espesor cero” y contaje mitad:
 - $N_o =$
 - $N_{1/2} = N_o/2 =$
- Determinación del espesor de semirreducción:
 - $X_{1/2} =$
- Cálculo del coeficiente de absorción lineal:
 - $\mu = \ln 2/X_{1/2} =$
- Cálculo del coeficiente de absorción másico:
 - $\mu_m = \mu/\rho =$
- Cálculo de la sección eficaz microscópica:
 - N (átomos/cm³) = $\rho \times N_A/M =$
 - $\sigma = \mu/N =$

ELEMENTO ABSORBENTE:

- Contaje para “espesor cero” y contaje mitad:
 - $N_o =$
 - $N_{1/2} = N_o/2 =$
- Determinación del espesor de semirreducción:
 - $X_{1/2} =$
- Cálculo del coeficiente de absorción lineal:
 - $\mu = \ln 2/X_{1/2} =$

- Cálculo del coeficiente de absorción másico:

- $\mu_m = \mu/\rho =$

- Cálculo de la sección eficaz microscópica:

- N (átomos/cm³) = $\rho \times N_A/M =$

- $\sigma = \mu/N =$

ELEMENTO ABSORBENTE:

- Contaje para “espesor cero” y contaje mitad:

- $N_o =$

- $N_{1/2} = N_o/2 =$

- Determinación del espesor de semirreducción:

- $X_{1/2} =$

- Cálculo del coeficiente de absorción lineal:

- $\mu = \ln 2/X_{1/2} =$

- Cálculo del coeficiente de absorción másico:

- $\mu_m = \mu/\rho =$

- Cálculo de la sección eficaz microscópica:

- N (átomos/cm³) = $\rho \times N_A/M =$

- $\sigma = \mu/N =$

Cálculo de la eficiencia:

FUENTE:

TIPO DE EMISION:

NUMERO DE CUENTAS: $L =$ TIEMPO DE MEDIDA: $t =$ NUMERO DE CUENTAS DE FONDO: $F =$ TASA DE RECuento NETA: $A' = (L - F)/t =$ ACTIVIDAD INICIAL DE LA MUESTRA: $A_0 =$

FECHA:

PERIODO $T_{1/2} =$ ACTIVIDAD CORREGIDA: $A =$ EFICIENCIA $\varepsilon = A'/A =$ $\varepsilon(\%) =$ ***CONCLUSIONES de la PRÁCTICA 4***

1. ¿Por qué no coincide el valor de N extrapolado en las gráficas con el experimental?
2. Para las energías de emisión de la muestra (ver esquema de desintegración), ¿qué valores del coeficiente de atenuación se obtienen en las gráficas 4.5, 4.6 y 4.7?
3. Compare los resultados experimentales con los valores teóricos obtenidos a partir de las figuras 4.5, 4.6 y 4.7 adjuntas.
4. Explique a qué se deben las diferencias observadas.
5. ¿Bajo qué supuestos es válida la ley exponencial de atenuación de la radiación gamma?
6. ¿Se observa un decrecimiento exponencial en la absorción de la radiación gamma con todos los absorbentes?

ADVERTENCIAS

Antes de apagar los aparatos, verifique que se ha puesto el voltímetro a cero, pues un cambio brusco de tensión puede dañar el detector.

Especifique en las gráficas las unidades de medida en las coordenadas correspondientes, así como el tipo de medida que ha realizado.

Deje los absorbentes colocados en su sitio.