

Radiación Nuclear

LUIS F. HORTA C.

FABIAN C. PASTRANA C.

SANTIAGO RAMIREZ V.

29 de abril de 2018

Resumen

El decaimiento radiactivo se divide en dos, alfa y beta, adicionalmente, después de estos procesos el átomo puede quedar en un estado inestable, este al buscar un estado más estable cambia su configuración liberando un fotón, a esta liberación se le conoce como rayos gamma. En este trabajo se estudiaron únicamente el decaimiento beta β^- y los rayos gamma γ por medio de un contador Geiger y a través de un computador, se contaron los nucleos radioactivos en muestras de $^{137}_{55}\text{Cs}$ y $^{204}_{81}\text{Tl}$, se analizaron el número de cuentas en función del voltaje en el contador, en función de la distancia, en función del tiempo para ver su distribución, y en función del grosor de barreras de aluminio y plomo interspuestas entre la fuente y el contador. Se llegó a que la distribución tiene a ser una gaussiana y se encontraron los coeficientes de absorción de la radiación gamma del Al y Pb.

I. INTRODUCCIÓN

estado mas estable de la siguiente manera.

Un elemento atomico X puede ser representado de la forma

$${}^A_Z X_N \quad (1)$$

En donde A es su masa atomica, medida en unidades atomicas, Z es el numero atomico, el cual determina la cantidad de protones en dicho elemento, y N es el numero de neutrones presentes.

Dicho elemento quimico, en particular su nucleo atomico esta expuesto a presentar lo que se llama un decaimiento, un proceso en el cual el nucleo mencionado expulsa cierto tipo de radiacion para pasar a un estado mas estable. Cuando se da este proceso, se conserban ciertas cantidades, tales como la energia descrita como $X = X' + x + Q$ [3], donde X es la energia del nucleo original, X' la del nucleo decaido, x representa la radiacion emitida y Q se define como el factor de calidad, en donde $Q = (m_X - (m_{X'} + m_x))c^2$ [3] y este siempre debe ser mayor a 0 para que el decaimiento sea posible. Por otro lado, otras cantidades conservadas son, el momento lineal, angular, la carga y el numero atomico A.

Un nucleo atomico inestable puede emitir radiacion tipo α (un nucleo de ${}^4\text{He}$) para pasar a un

$${}^A_Z X_N \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} X'_{N-2} + {}^4_2\text{He}_2 \quad (2)$$

En este proceso el Q valor es $Q = (m_X - m_{X'} - m_{{}^4\text{He}})c^2$ (donde las m son las masas nucleares)y, suponiendo que el nucleo X se encontraba en reposo, el momento lineal de X' y la particula α es el mismo.

Otro tipo de radiacion es la tipo β , en la cual un nucleo emite un neutron, el cual se descompone en un proton,un electron y un antineutrino.

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} \quad (3)$$

Cuyo Q valor de este decaimiento es $Q = 0,782\text{MeV}$ [3], y el proceso completo en el nucleo atomico es

$${}^A_Z X_N \rightarrow {}^A_{Z+1} X'_{N-1} + e^- + \bar{\nu} \quad (4)$$

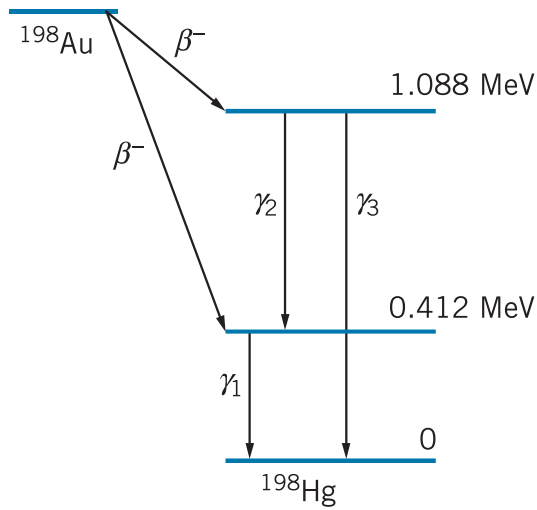


Figura 1: Representación de un decaimiento γ [3].

Después de un decaimiento α o β el núcleo puede quedar en un estado excitado, así que, buscando un estado estable emite uno o más fotones, y esta emisión es conocida como rayos γ , así pues, lo único que cambia del estado inicial al estado final es el valor de la energía, es decir que no se presentan cambios en A , Z o N ; al emitir el fotón, el núcleo es impulsado en dirección contraria a este, la figura 1 muestra un diagrama típico de niveles energéticos de estados nucleares excitados y algunas transiciones posibles de rayos gamma. [3]

Dada la conservación del momento lineal y teniendo en cuenta que la energía del retroceso del núcleo atómico es despreciable, en la ecuación de la conservación de la energía se tiene que:

$$E_{\gamma} \cong E_i - E_f = h\nu \quad (5)$$

Es decir, la energía del rayo gamma emitido es igual a la diferencia de los estados inicial y final.[3]

II. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL Y PROCEDIMIENTO

En el experimento realizado el principal instrumento que se utilizó es el contador Geiger. Este instrumento consta de un cilindro en donde un gas se encuentra en su interior y un cable pasa por el centro de este. La pared del cilindro actúa como un

electrodo negativo y un voltaje positivo es aplicado en el cable, generando una diferencia de potencial en el cilindro.

Cuando la radiación incidente entra en el contador, ioniza las partículas del gas en el interior, estas partículas van a ganar energía cinética por la diferencia de potencial presente en el instrumento, lo cual hace que choquen e ionicen más partículas del gas. Si la diferencia de potencial es lo bastante grande, se puede despreciar la resistencia entre la pared y el cable, (rama, explique esta partecita que no la entiendo porfa, referente al hecho de que en un momento solo dijo z se generan pulsos z ps no es consecuente, digo rama porque creo que rama lo escribió y ps está más enterado de esto) y se generaran pulsos, los cuales al ser detectados dan cuenta del número de partículas radioactivas incidentes en el contador.

Las principales desventajas del contador Geiger son, la pérdida de información de la potencia ionizadora de las partículas cargadas incidentes, y el largo tiempo para el cual, el gas en el interior del instrumento vuelva a su estado natural.

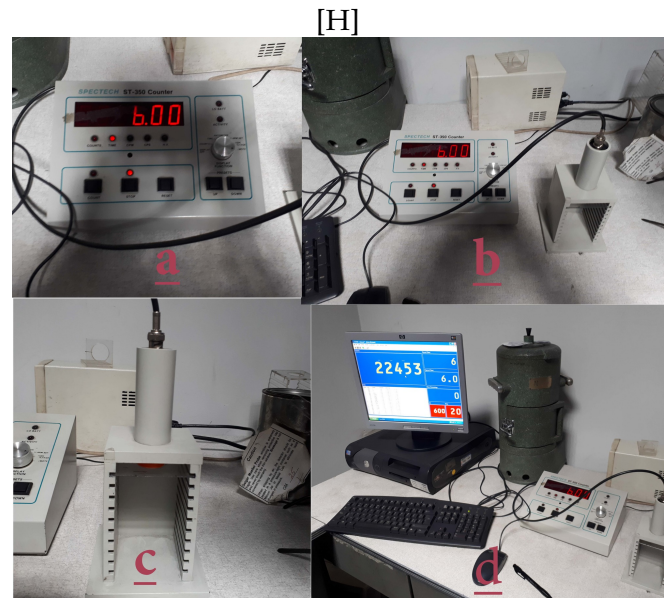


Figura 2: a) Tablero de control donde se indica la diferencia de potencial en el contador Geiger b) Tablero de control conectado al montaje c) Montaje donde está el contador Geiger y la muestra radioactiva d) Vista general del montaje conectado a un computador que toda los datos automáticamente.

Además del contador, también se utilizó cesio 137 y titanio 204, los cuales nos proporcionaban radiación γ y β con una actividad de $5.0 \mu\text{Ci}$ y $1.0 \mu\text{Ci}$ respectivamente.

La parte procedimental consistió en la toma de varias medidas, en primera estancia se varió el voltaje en el interior del contador entre 800V y 1100V en pasos de 20V y se midió la radiación emitida por los dos elementos ya mencionados. Luego, utilizando solamente el cesio de aquí en adelante, se tomaron 200 medidas cada 6 segundos de la radiación a un voltaje constante para mirar su distribución de emisión, seguidamente, se varió la distancia de la muestra al contador para analizar su comportamiento con la distancia, por último, a una distancia constante entre el contador y la muestra se interpusieron barreras de aluminio y plomo de distintos espesores para verificar la ley de beer, la cual es:

$$I = I_0 e^{-x\lambda} \quad (6)$$

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Las partículas al ingresar en el medidor geiger, al ser aceleradas por la diferencia de potencial, ganan energía cinética; estas al chocar con las partículas de gas que se encuentran en el medidor pierden energía al ser ionizadas, esta energía es del orden de 10 eV ; a esta energía perdida tendríamos que sumarle la energía perdida por el paso en el aire que es del orden de 30 a 35 eV , por lo que es de esperarse que el medidor tenga que manejar altos voltajes para que estas partículas alcancen a ser contadas, cabe aclarar que las partículas tienen que ser ionizadas en lo contrario no tenderán a ir hacia la parte céntrica del contador que es donde está el medidor (y el cátodo). Ahora bien analizando las graficas 3 se puede observar que para voltajes muy altos “casi” que es constante la cantidad de partículas que se cuentan, siendo independiente del voltaje que se le este aplicando; esto sucede debido a que para altos voltajes ocurre el proceso invertido, es la partícula del elemento en estudio ya ionizada la que choca con el gas y lo ioniza, dando como resultado la cuenta constante de partículas en el medidor

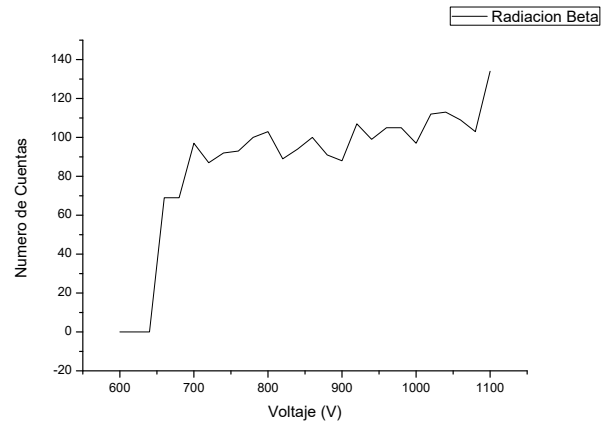
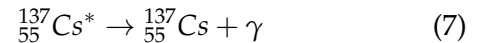


Figura 3: Número de cuentas en función de la diferencia de potencial en el medido geiger para la radiación beta emitida por el Ti-204.

Para el caso del $^{137}_{55}\text{Cs}$, se presenta un proceso así:



Donde el C^* hace referencia a un estado excitado del Cescio. La energía a la cual es emitido el foton γ es de $E_\gamma = 0.662\text{MeV}$. [5]

En la grafica 4 ocurre el mismo fenómeno que con el titanio, solo que para este caso debido a que el cesio es mucho más radiactivo es decir libera muchas más partículas, es de esperarse que hayan más partículas dentro del medidor, por lo que para voltajes altos hay muchas más partículas interactuando unas con otras; es por eso que la gráfica se aprecia mucho más uniforme que la del titanio.

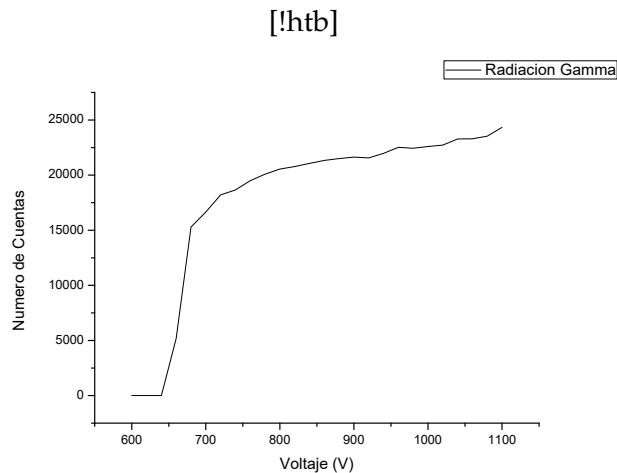


Figura 4: Número de cuentas en función de la diferencia de potencial en el medido geiger para la radiación gamma emitida por el Cs-137.

En vista de las mediciones por parte del contador Geiger, la idea es observar su comportamiento en un voltaje constante de $V = 850V$, en atención a lo cual, con 200 datos, y clasificándolos en 16 grupos con dominio por grupo de 50 N, y graficando el histograma se puede apreciar en la figura 5 que aunque la emisión no es completamente constante, o por lo menos la detección, sí tiende a serlo, ya que, la distribución del histograma tiende a ser una gaussiana, es decir, aunque su valor de emisión no sea exactamente constante para todo tiempo t , su distribución hará que todos sus valores tiendan a un valor principal que será el centro de la campana de gauss.

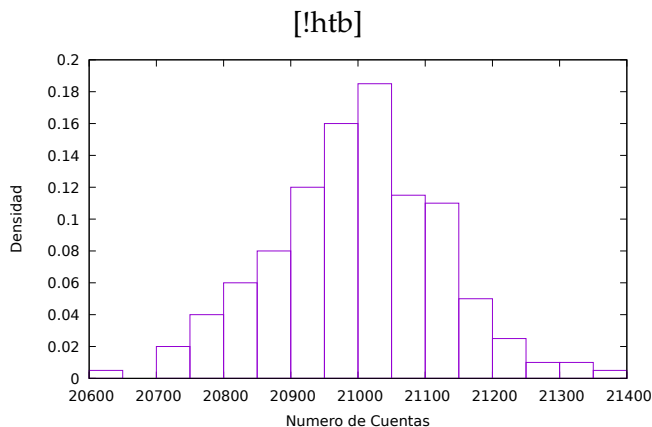


Figura 5: Densidad de distribución del número de cuentas para la radiación gamma del cesio-137 a 850 V.

Dado que los elementos estudiados están en una constante actividad atómica, estos por lo dicho anteriormente están emitiendo radiación γ o β , cualquiera sea el caso; y teniendo en cuenta que el medidor Geiger cuenta la cantidad de núcleos activos que son capaces de entrar en él, es coherente pensar que a medida que dicho elemento a la hora de estar más cercano al detector tengan mayor probabilidad las partículas en ingresar a este, ya que a mayor distancia más energía será necesaria para ingresar; debido a que hay mayor cantidad de partículas de ambiente con las cuales puedan colisionar y obstruir el paso al detector. Este fenómeno se puede apreciar en la gráfica 6, en donde se ve que la gráfica decrece de manera casi exponencial y es muy similar a la gráfica del inverso de la distancia al cuadrado, por lo que es muy cerna a los comportamientos de las leyes electromagnéticas.

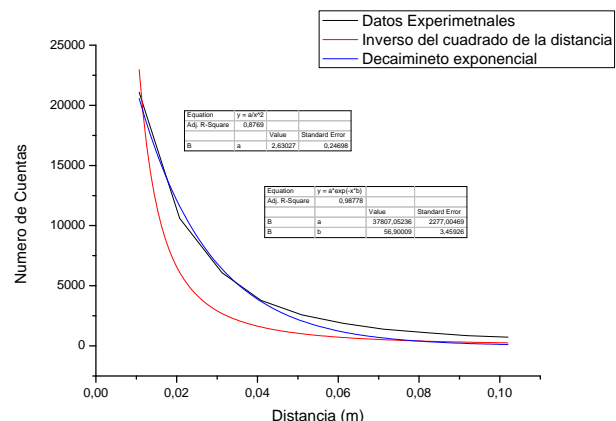


Figura 6: Comprtamiento de la radiación en función de la distancia con regresión lineal de un decaimiento exponencial para el Cs-137.

Para la parte del coeficiente de absorción del Aluminio y el Plomo, para los rayos gamma, se graficaron los datos correspondientes a lo indicado en la sección de procedimiento. Para el aluminio se obtuvo la gráfica 7, donde se evidencia el comportamiento del número de cuentas en función del grosor de la barrera de aluminio, haciendo un ajuste de decaimiento exponencial según lo indica la ley de Beer enunciada en la ecuación 6, se ve como los datos experimentales y la curva teórica de ajuste tienden a tener un igual comportamiento. De

los valores arrojados por la regresión, se llegó a que el $\lambda = \frac{mm}{4} = \frac{cm}{40}$, expresándolo de otra manera $\frac{\lambda_{Al}}{\rho_{Al}=0,0093}$, y buscando valores en la literatura, la emisiones de rayos gamma cercanos a 0,6KeV se encuentra que $\frac{\lambda_T}{\rho_{Al}} = 0,0285 \times 10^{-2}$, [6] con un error del 68 %, el margen de error puede ser debido a los espacios entre las láminas para lograr mayor grosor o suciedades sobre las superficies trabajadas.

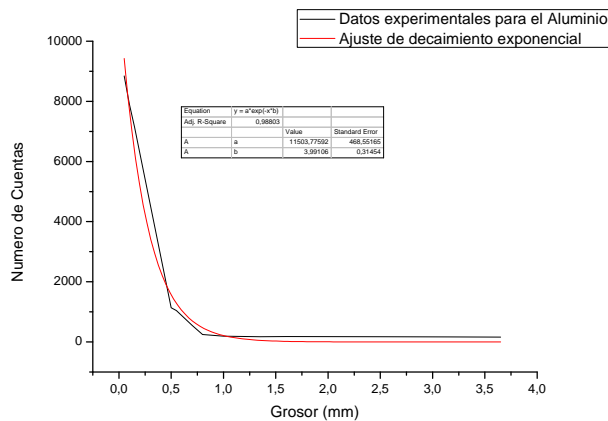


Figura 7: Número de cuentas medidas por el contador geiger en función del grosor de una barrera de aluminio para el Cs-137.

En cuanto al plomo, se tiene la gráfica 8, y se llegó a que su coeficiente de absorción es $\lambda = \frac{mm}{0,13118}$ así $\frac{\lambda_{Pb}}{\rho_{Pb}} = 0,0672$, y según la literatura, el valor es de $\frac{\lambda_T}{\rho_{Pb}} = 0,0682$, [6] con un error del 10 %, considerablemente menor al obtenido en la parte del aluminio, nuevamente estos errores pueden ser debido a suciedades en las placas de plomo y a espacios entre placas en la última muestra.

IV. CONCLUSIONES

- Sea cual sea el elemento radiactivo, las partulas emitas por estos se comportan de manera muy similar bajo las mismas condiciones.
- El aluminio es un elemento que aisla de manera muy precisa un elemento radiactivo, ya que con pocos milímetros de grosor ya a detenido gran parte de estas partículas.

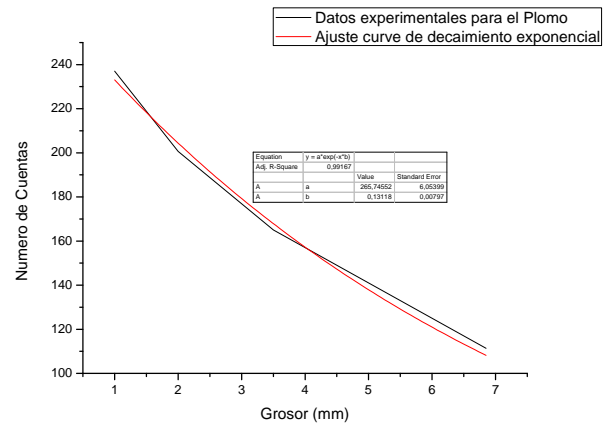


Figura 8: Número de cuentas medidas por el contador geiger en función del grosor de una barrera de plomo para el Cs-137.

REFERENCIAS

- [1] H. Haken, H. C. Wolf, *Atomic and Quantum Physics: An Introduction to the Fundamentals of Experiment and Theory* Second Enlarged Edition. Springer.
- [2] A. C. M. Jim Napolita, *Experiments in Modern Physics*. Second Edition. USA: ACADEMIC PRESS.
- [3] Kenneth S. Krane, *Modern Physics*. Third edition. United States es of America:: JOHNJOHN WILEY & SONS, INCWILEY & SONS, INC.
- [4] Paul A. Tipler, Ralph A. Llewellyn, *MODERN PHYSICS*. SIXTH EDITION. U.S.A.: W. H. Freeman and Company.(2012)
- [5] Michael L'Annunziata, *Handbook of Radioactivity Analysis*. 3rd Edition. U.S.A.: Academic Press.(2012)
- [6] J. H. Hubbell, S. M. Seltzer, *Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients 1 keV to 20 MeV for Elements Z = 1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest*. NIST PUBLICATIONS, U.S.A.(1995).