

DETERMINACIÓN DE LA VIDA MEDIA DEL ⁴⁰K POR EMISIÓN GAMMA

Di Lorenzo, Francisco. Lazarte, Alejandro I.
Laboratorio de Física V. Pab. I. Universidad de Buenos Aires.

El siguiente trabajo tiene el objetivo de determinar la vida media del ⁴⁰K, a partir de la emisión de radiación gamma, utilizando sales de cloruro de potasio. Se utiliza un dispositivo de espectroscopía gamma, con un detector de NaI(Tl) para la medición de la actividad del ⁴⁰K en función de la masa de KCl. Se hará un análisis más detallado de los espectros de diversas muestras de KCl y del fondo de radiación.

I. INTRODUCCION

Existen elementos naturales o artificiales que no se encuentran en el estado de menor energía, por lo tanto son más o menos inestables. Para poder cambiar su estado energético, éstos liberan energía de alguna u otra manera, y se los llaman radiactivos.

Las formas de emisión son variadas, en algunos casos para equilibrar el número de protones y neutrones en el núcleo. En otros, por emisión beta o gamma.

La desintegración radiactiva está caracterizada por el tiempo que se requiere para que la mitad de los átomos iniciales se desintegren por la emisión de partículas y/o energía. A este tiempo se lo denomina vida media.

El elemento a estudiar es el ⁴⁰K, que emite una línea en 1461 KeV¹. Para poder determinar su vida media utilizamos cloruro de potasio, KCl. Podemos determinar la vida media del ⁴⁰K ($T_{1/2}$), a partir de la actividad $A(t)$, es decir el número de decaimientos por unidad de tiempo, ya que;

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda \cdot N(t) = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \cdot N(t) \quad (1)$$

Donde $N(t)$ es el número total de núcleos de ⁴⁰K presentes por unidad de tiempo. El número total de átomos de ⁴⁰K, se puede determinar a partir de la masa de KCl, a partir de (2):

$$N(t) = N(^{40}\text{K}) = \frac{m_{\text{KCl}}}{M_{\text{KCl}}} N_A q(^{40}\text{K}) \quad (2)$$

Donde m_{KCl} es la masa de potasio utilizada, N_A el número de Avogadro, M_{KCl} el peso molecular del cloruro de potasio (KCl), $q(^{40}\text{K})$ es la proporción de ⁴⁰K en el potasio natural (0,012 %).

Luego por (1) y (2), si se mide la actividad $A(t)$ del ⁴⁰K, en función de la masa de KCl, se puede llegar a obtener la vida media del mismo.

II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para conocer la vida media del ^{40}K , necesitamos poder medir la actividad o la cantidad de decaimientos por unidad de tiempo (1). Se utilizan varias muestras de KCl de diferentes masas.

La actividad del ^{40}K medida, se ve necesariamente afectada por la cantidad de este isótopo que se encuentra distribuido en la naturaleza. Por ello, se hará necesario el uso de varias muestras de ésta sal y la medición del fondo (en ausencia de las mismas).

A. DETECCION DE RAYOS GAMMA

Se utiliza un arreglo que constituye un sistema de espectroscopía gamma (figura 1). El objetivo es la medición de la energía e intensidad de los fotones incidentes. El detector utilizado es un centellador de yoduro de sodio dopado con talio (NaI(Tl)).

Éstos fotones incidentes interactúan con los átomos de centellador (fotoeléctrico, Compton, formación de pares), donde la energía del rayo gamma es transmitida a un electrón de la red cristalina e induce la emisión de fotones ópticos.

La energía del rayo gamma queda entonces contenida en la cantidad de fotones ópticos producidos.

Éstos fotones inciden en un fotocátodo de un fotomultiplicador y emiten electrones por efecto fotoeléctrico. Cada electrón procedente del fotocátodo es acelerado por un campo eléctrico e incide sobre un segundo electrodo (dínodo) produciendo, nuevamente por efecto fotoeléctrico la emisión de varios electrones secundarios. Éstos son nuevamente acelerados e inciden sobre otro dínodo, así se logra un efecto multiplicador.

La corriente eléctrica que llega al ánodo produce un pulso de tensión en una resistencia colocada a la salida. Éste pulso es proporcional a la energía de los rayos gamma emitidos por el ^{40}K .

Los pulsos de tensión son amplificados y con un analizador multicanal son convertidos de analógicos en un número digital (número de canal). El software de la computadora se encarga de construir espectros de altura donde cuenta la cantidad de fotones incidentes en función del número de canal^{4,5}

B. CALIBRACIÓN DEL MULTICANAL

Previo a la medición de muestras de KCl, se debe proceder a la calibración del multicanal. Para ello se utilizan muestras de diversos isótopos de energía conocida, por ejemplo ^{137}Cs (0,66165 MeV), ^{60}Co (1,3325 y 1,1732 MeV) y ^{22}Na (1,2715 MeV).

Se utiliza una combinación de ^{60}Co y de ^{137}Cs , para la calibración en energía del multicanal.

El ^{22}Na , si bien, el fotopico de éste isótopo es muy cercano a los de las otras fuentes (por ello no fue utilizado para la calibración) puede observarse en el histograma un fotopico de 0,511 MeV, debido a la aniquilación del positrón.

Para la calibración en energía del multicanal se debe realizar la elección de la geometría más apropiada para la ubicación de las muestras, y además que sea totalmente reproducible.

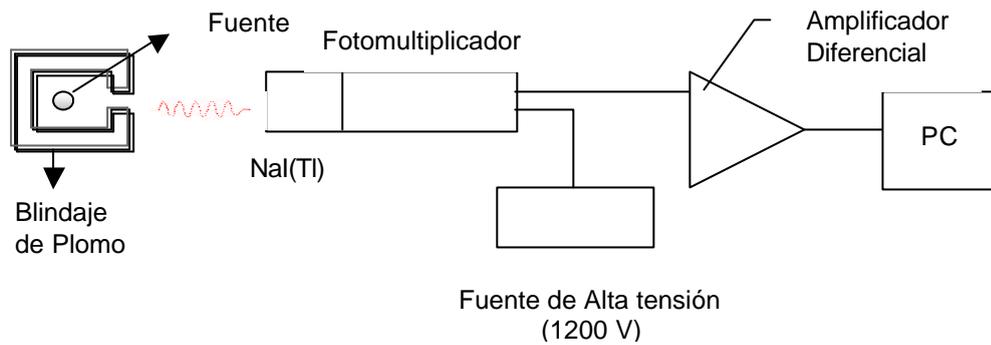


Figura 1: Dispositivo utilizado para la detección de rayos gamma y la medición de su energía.

III. ANALISIS DE LOS ESPECTROS

La eficiencia del detector es obtenida por medio de una tabla, para una energía determinada y una geometría dada, ϵ_{abs} . La geometría es un factor determinante, ya que cualquier variación entre la distancia del detector a la muestra estaría acompañado de un cambio en el coeficiente mencionado.

Luego el cálculo de la actividad, se realiza por (3), resultando ser:

$$A(t) = \frac{C.P.S.}{\epsilon_{abs} \epsilon_{pt} p(g)} \quad (3)$$

Donde C.P.S. son las cuentas por segundo, y se calcula como el área del fotopico dividida el tiempo de medición. El coeficiente ϵ_{pt} , es también extraído de tablas y relaciona el área del fotopico de 1461 KeV con el área total del histograma, y $p(\gamma)$ es la proporción de átomos de ^{40}K que emiten dicha energía.

Entonces si representamos la actividad en función de la masa de KCl utilizada, obtenemos el gráfico 1.

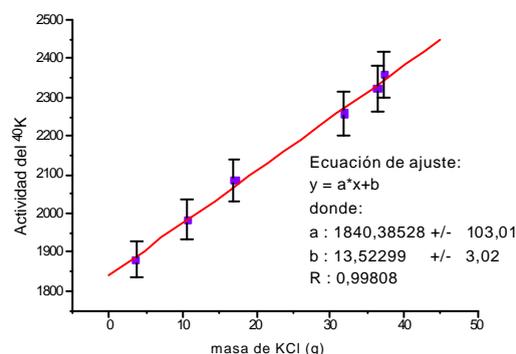


Gráfico 1: Dispersión de la actividad del ^{40}K en función de la masa de KCl, ajustada por una función lineal, con pendiente $13,523 \pm 3,02$, que es proporcional a la vida media del isótopo.

La ordenada al origen, representa la actividad en ausencia de masa colocada frente al detector, es decir la radiación de fondo. El valor medido por

el detector para la radiación de fondo es de 1930 decaimientos por segundo, aproximadamente. Se puede observar que el error del valor calculado contiene a la medición realizada del fondo de radiación.

La vida media del ^{40}K , es proporcional a la pendiente de la recta (b) del gráfico 1, por medio de:

$$T_{1/2} = \frac{N_A \cdot \ln(2) \cdot q(^{40}\text{K})}{M_{\text{KCl}} \cdot b}$$

Realizando los cálculos, la vida media del isótopo del K resulta ser:

$(1,57 \pm 0,3) \times 10^9 \text{ años}$

IV. CONCLUSIONES

La determinación de la vida media del ^{40}K , no resultó como esperábamos. Aunque por el resultado mostrado anteriormente, puede verse que dentro de su intervalo de incerteza se encuentra el valor real de la vida media del ^{40}K ($1,3 \times 10^9$ años^[2]).

Por la medición de la radiación de fondo se observa que el ^{40}K está distribuido por toda la naturaleza y podemos decir que una única medición de KCl no hubiere bastado. Si relacionamos las cuentas por unidad de tiempo del fondo con una masa equivalente de KCl, entonces dicha masa es comparable con las muestras utilizadas.

Los datos de la vida media del ^{40}K medidos, atribuyen a este material que si bien es natural y existió siempre desde el origen, entonces esto implica que el universo no es eterno. En caso contrario no deberíamos haber podido comprobar su existencia.

Se puede extraer de éstos espectros información acerca de otros elementos que produzcan radiactividad natural. Entre ellos, el ^{137}Cs y el ^{60}Co , otros no pudieron ser observados por efecto de enmascaramiento dado por los anteriores. Por lo tanto, esto asegura la hipótesis de un universo que no es eterno, y además de la existencia de elementos naturales radiactivos distribuidos por toda la naturaleza (inclusive en nosotros mismos).

BIBLIOGRAFÍA.

1. "Subatomic Physics"- H. Fraunfelder y E.M. Henley- 2nd. Ed. Prentice Hall 1991.
2. A Laboratory Experiment for determining the partial half-life of ^{40}K for beta emission" K. Gopal Am J. Phys. 40 (1972) pág. 721.
3. Tabla de energías de distintos isótopos, proporcionada por el docente.
4. Radiation detection and measurements Glenn F. Knoll, John Wiley & Sons Inc. 1989, Capítulos 8,9,10,12,14,18
5. Física Moderna. Paul A. Tipler. Ed. Reverté ISBN 84-291-4186-3 Cap. 12.
6. Compton Scattering, the electron mass and relativity. A laboratory experiment. P.L. Jolivellet y N. Rouze. Am. J. Phys. (62) 3 1994.