

DETERMINACIÓN DE LA VIDA MEDIA RADIATIVA DEL ^{40}K

Nicolás Di Fiori – Federico Foieri – Matías Rodríguez
nicolasdf@fibertel.com.ar, fedefoieri@hotmail.com, srv@labs.df.uba.ar
Laboratorio 5 – FCEyN – UBA, Octubre de 2001

Se midió la vida media radiativa del isótopo ^{40}K presente en muestras de sales de KCl. Para ello se utilizó un detector de un cristal centellador inorgánico del tipo Yoduro de Sodio (NaI) dopado con Talio. Se obtuvieron la actividad en función de la masa para distintas muestras de fuente radiactiva, determinándose a partir de éstas el $T_{1/2} = (1,4 \pm 0,3) \times 10^9$ años.

Introducción

Existen elementos capaces de emitir espontáneamente partículas cargadas y radiaciones. Estas emisiones, en principio, se dividen en tres grupos, partículas alfa, partículas beta, y radiación gamma. Dependiendo de la configuración del núcleo algunos decaimientos poseen mayor probabilidad de suceder que otros.

Todo núclido radiactivo posee una vida media, que representa el tiempo en el cual la mitad de los átomos de una fuente radiactiva decaen. El objetivo de nuestro trabajo fue el de determinar el tiempo de vida media radiactivo del ^{40}K .

El ^{40}K es un isótopo radiactivo del potasio natural que se encuentra en la naturaleza en baja proporción con respecto al mismo. Es sabido que el ^{40}K decae a ^{40}Ar (10.7%) por captura electrónica, y a ^{40}Ca por decaimiento beta (89.3%). El decaimiento del ^{40}K por captura electrónica emite una línea característica de energía $E_{\text{gam}} = 1460.8$ keV.

Para poder determinar la vida media de este isótopo radiactivo utilizamos muestras de KCl, determinando el número de decaimientos por unidad de tiempo, o mejor llamada actividad:

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

donde $N(t)$ es el número total de núcleos que decaen, y $T_{1/2}$ es la vida media. Conociendo la masa de la muestra de KCl se puede determinar el número de átomos del ^{40}K según:

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

donde m_{KCl} es la masa de la muestra, M_{KCl} es la masa molecular, $p(^{40}\text{K})$ es la proporción del ^{40}K en el potasio natural y N_A es el número de Avogadro.

Luego de obtener los espectros de emisión de partículas, es posible determinar experimentalmente la actividad en función de la masa según la siguiente relación:

$$A(t) = \frac{C.P.S}{\varepsilon \cdot p_\gamma} \quad (3)$$

donde ε es la eficiencia del fotopico que obtuvimos utilizando la planilla *Excel*, el factor p_γ representa la proporción de átomos de ^{40}K que emiten en 1460,8 keV.

Una vez obtenida la actividad en función de la masa, es posible determinar el $T_{1/2}$ del ^{40}K , juntando las Ec.2 y Ec.3:

$$T_{1/2} = \ln(2) \cdot N_A \frac{q(^{40}\text{K})}{(b \cdot M_{\text{KCl}})} \quad (4)$$

donde b es la pendiente que resulta de aproximar mediante una recta el gráfico de la actividad en función de la masa.

Desarrollo Experimental y Resultados

Para obtener la actividad de cada muestra analizada se dispuso un sistema básico de espectroscopia gamma como se esquematiza en la Fig.1. El detector consistió en un cristal centellador inorgánico del tipo Yoduro de Sodio (NaI) dopado con Talio. Al incidir los fotones sobre el mismo, éstos interactúan por varios mecanismos –efecto fotoeléctrico, Compton y producción de pares– con los átomos del centellador. Entonces, la energía de los fotones incidentes se invierte en producir una cantidad de fotones ópticos, cuyo número es proporcional a la energía del fotón incidente.



Figura 1 – Esquema del dispositivo utilizado

Estos fotones visibles inciden sobre el fotocátodo de un tubo fotomultiplicador (PMT). Aquí, cada fotón visible que incide produce la

emisión de electrones por efecto fotoeléctrico. De esta forma, la salida del fotomultiplicador entrega un pulso de tensión cuya amplitud es proporcional a la energía del rayo gamma original. El amplificador entre el PMT y el analizador multicanal (MCA) amplifica y condiciona los pulsos.

El multicanal realiza un análisis de la altura del pulso, convirtiendo una señal analógica (tensión) en un número digital equivalente (número de canal). Finalmente un programa de computadora asociado al multicanal realiza un histograma de alturas de los pulsos, que representan la energía de los rayos gamma.¹

Una vez construido el histograma de cantidad de pulsos recibido por canal, fue necesario conocer la energía asociada a cada uno de estos canales. Para ello se procedió primeramente a calibrar el multicanal. Se utilizaron dos muestras cuyas energías de los picos eran conocidas. Estos elementos eran Cobalto 60 y Cesio 137. La Fig.2 muestra el gráfico que se obtuvo al calibrar el multicanal.

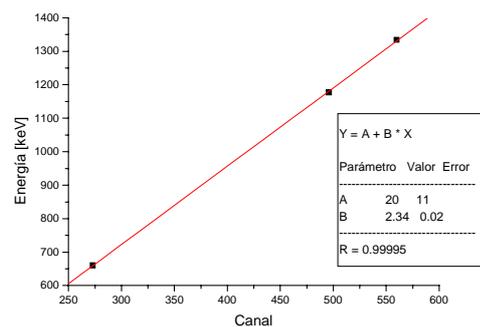


Figura 2 – Calibración del analizador multicanal utilizando muestras de Co y Cs.

Luego se procedió a registrar los histogramas de las diversas muestras de KCl. En total fueron ocho, todas de

distintas masas en el rango 3 a 38 gramos. Estas muestras fueron ubicadas a $(3,7 \pm 0,1)$ cm del detector de centelleo y rodeadas por un blindaje de Pb. Se tomaron los espectros correspondientes así como una muestra de la radiación de fondo ya que al ser el ^{40}K un núclido natural, éste está presente donde sea haya potasio.

Por supuesto, los tiempos de exposición no fueron todos iguales ya que al modificar la fuente de radiación, se necesitaron distintos tiempos para poder obtener una actividad apreciable.

Con los distintos histogramas confeccionamos un gráfico de la actividad en función de la masa según la Ec.3. En la Fig.4 se exhiben dos espectros para dos muestras de distintas masas. En ambos gráficos se pueden observar dos marcados picos, uno correspondiente a la emisión del ^{40}K en los 1460,8 keV y otro más pronunciado en energías más bajas correspondiente a un efecto de dispersión de los fotones emitidos por la muestra con el entorno. Y a esto se suma la radiación de fondo proveniente de las paredes y estructuras, rayos cósmicos y demás.

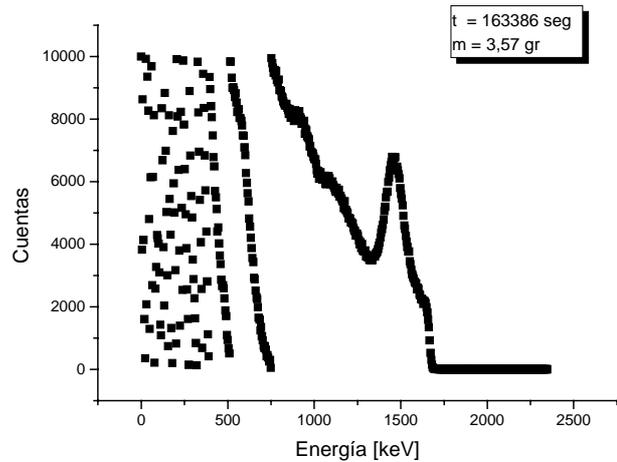
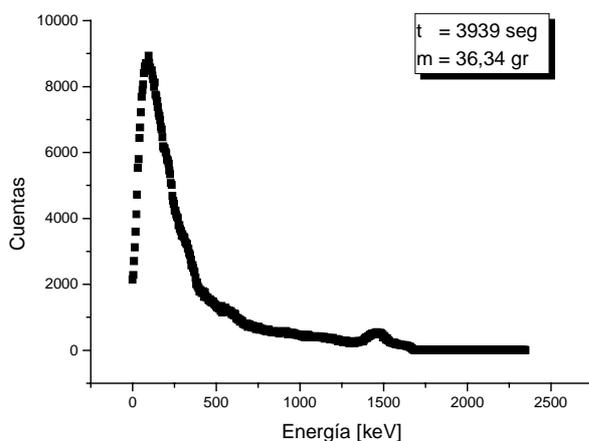


Figura 4 – Espectros correspondientes a las muestras de 36,36 gr. y 3,57 gr.

Luego se procedió a integrar las cuentas en los distintos picos correspondientes al ^{40}K para finalmente dividirlos por el tiempo de exposición y obtener las cuentas por segundo (c.p.s.). Y mediante la Ec.3 obtenemos la actividad de cada muestra en función de su masa. La Fig.5 muestra justamente el gráfico de actividad en función de masa para las ocho muestras.

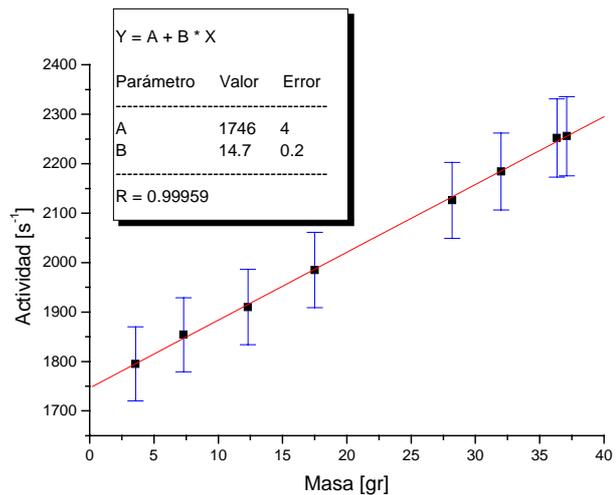


Figura 5 – Actividad en función de la masa

Cabe aclarar que la contribución del fondo no modifica la pendiente obtenida, sino que es una constante aditiva que produce un corrimiento de la ordenada al origen. La contribución del fondo por unidad de tiempo fue entonces de $A_f = (1746 \pm 4)s^{-1}$.

La Fig.5 nos permite obtener la actividad de una muestra conociendo su masa. Definimos la actividad específica de una muestra como la actividad neta (es decir, restando la contribución del fondo) dividida su masa. En la Fig.6 se muestra el gráfico de actividad específica en función de la masa. Se puede observar una leve tendencia de la actividad específica a decrecer a medida que la masa aumenta. Este hecho puede explicarse utilizando la hipótesis de “*autoabsorción*” según la cual algunos de los fotones emitidos son absorbidos dentro de la misma muestra. Entonces, a medida que la fuente aumenta, así lo hará también la magnitud de este efecto.

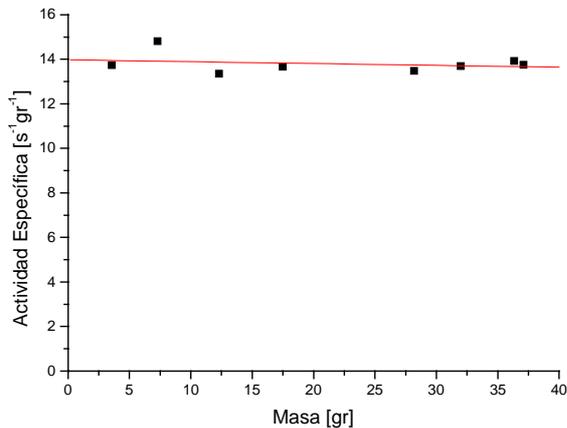


Figura 6 – Actividad específica en función de la masa

Finalmente, de la pendiente de la Fig.5 obtenemos el tiempo medio radiactivo para el ^{40}K utilizando la Ec.4.

Obtuvimos un valor de $T_{1/2} = (1,4 \pm 0,3) \times 10^9$ años.

Conclusiones

El valor tabulado para la vida media radiactiva del ^{40}K es de $1,277 \times 10^9$ años². Entonces, no se presentaron diferencias significativas con el valor obtenido experimentalmente.

Sin embargo, que el valor medio obtenido haya sido levemente mayor al tabulado puede explicarse por los efectos de autoabsorción. Este efecto ocasiona que las cuentas detectadas sean menores, lo cual ocasiona a su vez que la actividad medida disminuya, resultando en un tiempo medio de decaimiento aparente mayor al real.

Este efecto también se hace notorio en la Fig.6, donde cabría esperar una recta de pendiente nula si este efecto no existiera. Pero la pendiente negativa revela que este efecto se hace mayor al aumentar la masa de la muestra.

En todos los gráficos de espectros de emisión se observaron los picos en los 1461 keV correspondiente a la emisión de rayos γ por la muestra, y a un segundo pico, mucho mayor en amplitud, correspondiente a la dispersión de estos fotones contra las paredes aledañas donde chocaron y disminuyeron su energía hasta aproximadamente los 150 keV.

Por último, como el ^{40}K es un núclido radiactivo natural, cuyo porcentaje relativo de abundancia es del 0,0117%, significa entonces que la edad de la Tierra es del orden de la vida media radiactiva de este isótopo.

Apéndice: Detectores de centelleo de NaI

En un material cristalino sólido, la interacción entre una partícula con una cierta cantidad de energía –fotones– y los electrones, es la causa por la cual éstos son arrojados de sus sitios en la red cristalina.

Cuando un electrón de otra capa ocupa esos lugares vacantes, se emite luz y algunos cristales son transparentes a esa luz. El paso de una partícula energética es, por lo tanto, señalado por un *centelleo* de luz emitido desde el cristal. En los detectores de centelleo (Fig.7) esta luz es transformada en un pulso eléctrico al incidir sobre una superficie con importante sección eficaz para el efecto fotoeléctrico. Esa superficie es conocida como *fotocátodo* de un dispositivo llamado *fotomultiplicador*. En éste, los electrones emitidos por el fotocátodo son acelerados por un campo eléctrico y conducidos hasta el *dinodo*, una superficie plana desde la cual los electrones pueden ser fácilmente expulsados.

Cada electrón que llega al dinodo hace que sean expulsados tres o cuatro electrones, dependiendo esto de la energía que le transfiere a los electrones el campo eléctrico aplicado. Los electrones emitidos por el dinodo son entonces acelerados hasta un segundo dinodo, del cual cada electrón logra sacar tres o cuatro electrones más, que a su vez son acelerados a otro dinodo.

Repetiendo este proceso varias veces, se logra en cada oportunidad multiplicar el número de electrones en juego por tres o cuatro. Un fotomultiplicador tiene típicamente entre seis y catorce juegos de este tipo.

Los electrones del último dinodo (que tienen una carga total Q) son colectados por el ánodo, desde donde fluyen al capacitor C' (utilizado para eliminar la voltaje continuo de la salida) induciendo una carga igual al capacitor C .

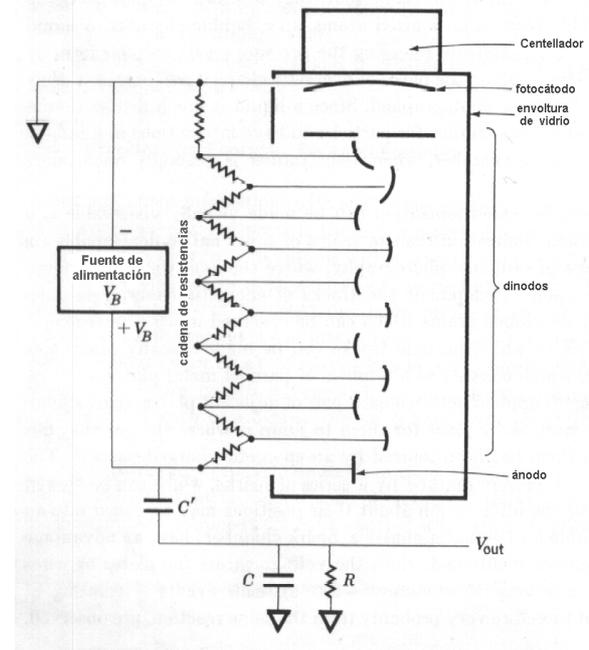


Figura 7 – Diagrama esquemático de un detector centellador

El voltaje de salida va a depender tanto de la forma en la cual los electrones ocupan los lugares vacantes en la red del cristal (caracterizadas por un parámetro de decaimiento λ_v) y del número de fotones emitidos como de los electrones que fluyan por la resistencia R , caracterizados por una constante de decaimiento RC .

Considerando ambas contribuciones, el pulso de salida tiene la forma de la Fig.8.

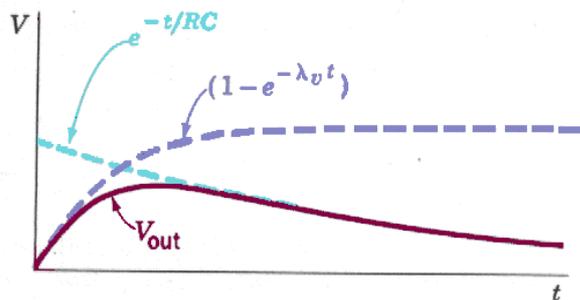


Figura 8 – Forma del pulso (voltaje de salida vs. tiempo) para un detector centellador

El tamaño del pulso de salida es proporcional al número de electrones emitidos desde el fotocátodo, que es proporcional a la energía perdida en el cristal por la partícula energética incidente. De esta manera, al medir el pulso se puede determinar la energía de los fotones incidentes.³

Referencias y Bibliografía

- ¹ Guía de Laboratorio 5: *Vida Media del ⁴⁰K*, Laboratorio 5, Dpto de Física, FCEyN, UBA.
² http://ie.lbl.gov/education/parent/K_iso.htm
³ Bernard L. Cohen, *Concepts of Nuclear Physics*, Ed. McGraw-Hill, 1971, pág 212.
 - Whitten, Gailey, Davis, *Química General*, Ed. McGraw-Hill, 1988.
 - Sears, Zemansky, *Física General*, Ed. Aguilar, 1957.