

Vida media del ^{40}K

Pablo Perez y Mariana Zeller

pablperez@yahoo.com-marianzeller@hotmail.com

Laboratorio 5-FCEN-UBA-Verano 2002

En el presente trabajo se calculó la vida media del ^{40}K mediante el uso de un detector de radiación gamma. Para ello se estudiaron los espectros obtenidos para diversas muestras de potasio.

El valor encontrado no difiere significativamente del hallado en la bibliografía. Se discuten los posibles problemas en la toma de datos y los diversos errores que aparecen en los cálculos.

Introducción

El isótopo del potasio de masa atómica 40 es una de las fuentes radiactivas naturales que existen. Si se pudiera medir la cantidad de decaimientos por unidad de tiempo se podría precisar su vida media (T_{med}), que se sabe es del orden de 10^9 años. Obviamente, la vida media del ^{40}K es un valor estadístico, ya que dado un único átomo radiactivo no puede saberse con precisión el momento en el que decaerá. Dicho T_{med} se define como el tiempo necesario para que, dada una cantidad de material radiactivo, se desintegre la mitad de la muestra original.

El ^{40}K al desintegrarse radiactivamente emite rayos gama con una longitud de onda fija que es propia del decaimiento y con una intensidad proporcional a la cantidad de decaimientos. Si se pudiera contar la cantidad de rayos gama asociados a una energía dentro de un rango de valores de que incluya el pico de emisión del potasio se podría calcular el valor de la vida media. A continuación se detallará el desarrollo matemático que se siguió en este trabajo para lograr medir el T_{med} del

^{40}K a partir de mediciones realizadas con muestras de cloruro de potasio (KCl).

La cantidad de átomos radiactivos (N) se reduce exponencialmente en la muestra, y la cantidad de decaimientos por unidad de tiempo (que se denominará actividad; A) para un instante dado es proporcional a la cantidad de átomos de ^{40}K en la muestra en ese momento.

(1)

$$A(t) = \ln 2 / T_{med} \cdot N(t) \approx 0.693 / T_{med} \cdot N(t)$$

El número de átomos N(t) de ^{40}K puede calcularse con la masa de la muestra de KCl con la siguiente fórmula:

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

donde m_{KCl} es la masa de la muestra; M_{KCl} , la masa molecular del cloruro de potasio; N_A , el número de Avogadro; y $p(^{40}\text{K})$ la proporción de ^{40}K en el potasio natural. Dado que la vida media del ^{40}K es del orden de 10^9 años que es muy superior al tiempo de duración de la experiencia, se asumió que la masa de la

muestra se mantenía constante y por lo tanto la actividad también.

Es necesario tener en mente que el potasio, y por lo tanto el isótopo ^{40}K , se encuentra naturalmente en todo el entorno donde se realiza la medición. Por lo que el detector mide los decaimientos originados por el potasio no sólo de la muestra sino también del fondo. En este trabajo se midió la actividad de varias muestras de KCl con masa conocida, para luego de linealizar obtener el T_{med} sin el ruido aportado por la radiación de fondo. Los detalles de estos cálculos se explicarán más adelante en la sección de análisis de resultados.

No todo decaimiento radiactivo produce un rayo gama susceptible de ser registrado por el detector, sino que existe una fracción p_γ que es necesario conocer para averiguar la cantidad de rayos emitidos por unidad de tiempo (N_{emit})

$$(3) \quad N_{emit} = p_\gamma \cdot A$$

Pero por otra parte, no todo rayo emitido es colectado y registrado por el detector. Existe una eficiencia (ϵ) que depende no sólo del detector en sí mismo, sino también de la energía en cuestión y de la distancia a la que se colocan las muestras respecto al detector (en particular al ángulo sólido subtendido por la superficie detectora respecto de la muestra).

$$(4) \quad \epsilon(E_\gamma) = \frac{N_{esp}(E_\gamma)}{N_{emit}(E_\gamma)}$$

donde N_{esp} es la cantidad de rayos o cuentas que capta el detector por unidad de tiempo a una energía dada E_γ .

Con las fórmulas (2), (3) y (4) es posible expresar en (1) $A(t)$ y $N(t)$ en

función de parámetros dato o medidos para finalmente despejar T_{med} .

Dispositivo experimental

El dispositivo experimental empleado se esquematiza en la figura 1. La superficie detectora estaba compuesta por un centellador de yoduro de sodio dopado con talio (NaI(Tl)) sobre la que incidían los rayos gama emitidos por la muestra. El centellador, al recibir fotones desde la muestra, emitía una cantidad de fotones ópticos proporcional a la energía del primer fotón. Los fotones ópticos eran colectados por un tubo fotomultiplicador (PMT) que se conectó a una fuente y servía para amplificar la señal emitiendo pulsos de tensión de amplitud proporcional a la señal que recibía. El tubo fotomultiplicador se conectó a una PC provista de un analizador multicanal utilizando un amplificador como intermediario que tomaba los pulsos del PMT y los codificaba de forma tal de poder ser interpretados por el analizador multicanal.

Dicho multicanal, que tenía un software apropiado para organizar los datos, disponía las cuentas recibidas en forma de un histograma. Cada barra del histograma (cada posición sobre el eje x) representaba un valor de energía, y la altura de cada barra estaba dada por la cantidad de pulsos de esa energía que colectó el sensor. Dado que en esencia la medición era estadística (lo que importa es la cantidad de pulsos por unidad de tiempo), cuanto más tiempo se dejara la muestra expuesta al dispositivo, de mejor calidad resultaban las mediciones.

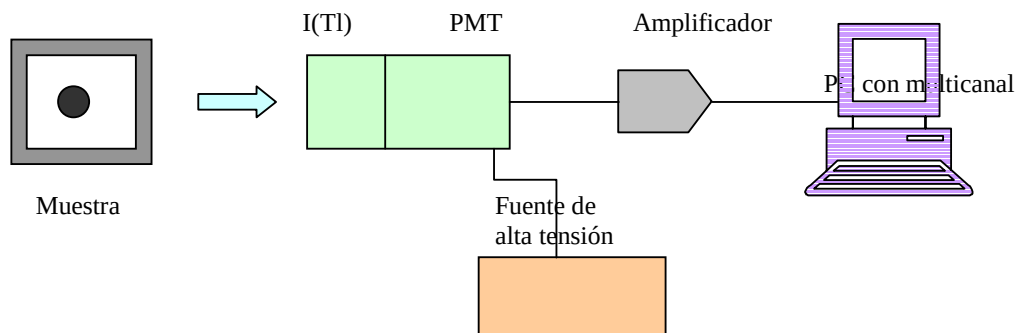


Figura 1: Dispositivo experimental.

Desarrollo experimental

Utilizando el dispositivo de la figura 1 se obtuvieron los espectros de diversas muestras de KCl, cuyos valores van desde los 7,9 gr a los 37,35 gr.

Las muestras fueron ubicadas a $(3,57 \pm 0,15)$ cm. del detector. La geometría es un factor importante, por lo que se intentó respetarla en todo momento.

Los histogramas obtenidos representan el número de cuentas en función de los canales.

Los espectros obtenidos presentan picos que representan el valor de energía asociado a la emisión del potasio.

Se calcularon las área bajo los picos y con los datos del tiempo de medición, la eficiencia y p_γ se calculó la actividad.

Ésta se calcula como

$$A(t) = \frac{c.p.s.}{\epsilon \cdot p_\gamma} \quad (5)$$

donde c.p.s. representa las cuentas por segundo, que se calcula como el área del fotopico dividido el tiempo de medición, $\epsilon = (8,70 \pm 1,67) \cdot 10^{-3}$ (calculado) la

eficiencia y $p_\gamma = 0,1$ que es la proporción de átomos de potasio que emite en 1461 KeV.

Se midió también la radiación de fondo para determinar la cantidad de potasio presente en todas las tomas.

Se graficó la actividad $A(t)$ en función de las masas. La pendiente de dicha recta está vinculada con la vida media mediante las ecuaciones (1) y (2), dando

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2 \cdot q(^{40}\text{K}) \cdot N_A}{M_{\text{KCl}}} \cdot \frac{1}{b} \quad (6)$$

donde b representa la pendiente de la recta y $q = 0.00012$ que es la fracción de ^{40}K presente en el potasio natural.

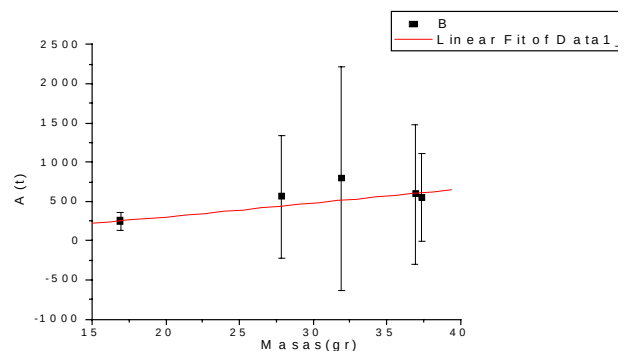


Figura 1: Gráfico de la actividad en función de las masas.

La pendiente de la figura 1 es:

$$m = 17,48 \pm 3,48 \text{ seg/gr}$$

Reemplazando este valor en la ecuación (6) es posible calcular la vida media del ^{40}K siendo éste :

$$T_{1/2} = (1,22 \pm 0,24) \cdot 10^9 \text{ años}$$

También es posible realizar un gráfico de la actividad específica en función de las masas.

Dicha actividad se expresa como :

$$A_{\text{esp}} = \frac{A(t)}{m_{\text{KCl}}} \quad (7)$$

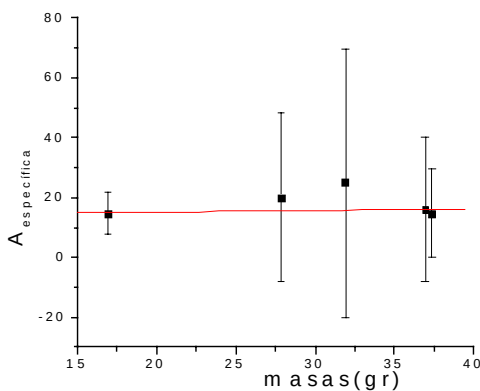


Figura 2: Gráfico de la actividad específica en función de las masas.

Del gráfico se puede extraer la pendiente de la recta siendo :

$$m = 0,057 \pm 0,111 \text{ seg/gr}^2$$

Conclusiones

La determinación de la vida media del ^{40}K resultó ser el esperado. El valor dado por la bibliografía es de $1,3 \cdot 10^9$ años.

No pudo hacerse la calibración de los canales con la energía.

Tampoco pudo hallarse el valor de la eficiencia por lo que se procedió de la siguiente manera; se usaron los datos de la eficiencia y de los valores de las áreas y de los tiempos de otro grupo y comparando éstos datos con los nuestros se pudo calcular un valor aproximado para nuestra eficiencia, siendo ésta $\varepsilon = (8,70 \pm 1,67) \cdot 10^{-3}$.

Una mayor cantidad de muestras hubiera reducido errores en las rectas de la actividad y de la actividad específica, como también en el cálculo de la eficiencia.

La determinación de las áreas de los fotopicos mediante el ajuste gaussiano utilizado, variaba considerablemente con la determinación del área a tener en cuenta.

Se hubiera esperado que la pendiente de la figura 2 fuera negativa, debido al efecto de auto-absorción.

Se pudo determinar que el potasio no sólo está en las muestras consideradas, sino también en el medio que nos rodea. (radiación de fondo). Esto se ve en la ordenada al origen de la figura 1, que no pasa por el origen.

Otro factor que puede introducir algunos errores es mantener la geometría del dispositivo, ya que pequeñas variaciones traen consigo variaciones en la eficiencia, que hemos supuesto constante.

Apéndice

La manera de relacionar los datos de nuestras compañeras con los nuestros para el cálculo de la eficiencia fue determinar la pendiente de la recta

$$(c.p.s.)_{\text{nuestro}} = \frac{\varepsilon_{\text{nuestro}}}{\varepsilon_{\text{chicas}}} \cdot (c.p.s.)_{\text{chicas}} \quad (8)$$

de dónde se extrajo $\varepsilon = (8,70 \pm 1,67) \cdot 10^{-3}$

Esta sale de suponer que para una misma

muestra, $A(t)$ es una constante. Por lo tanto se igualaron las expresiones para $A(t)$ dados por la ecuación (5), obteniendo la ecuación (8).

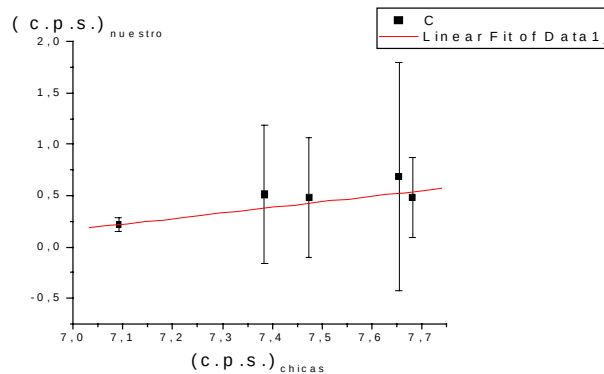


Figura 3: la pendiente de la recta relaciona las eficiencias

Bibliografía

1. **Nuclear physics**-Kaplan Irving-Ed. Addison Wesley-2nd. Edición (1963) päg:234 a 239
2. **Guía de laboratorio 5:vida media del ^{40}K** .Física re-creativa, Prentice Hall, Bs.As. 2001.
3. **Subatomic physics** – H.Frauenfelder, E. Henley, Prentice Hall, 2nd.Edición.Pag.50

Agradecimientos:

Agradecemos los datos proporcionados por Mónica y Soledad ,compañeras de laboratorio 5.