

Atenuación de la radiación gamma con blindajes de plomo y cobre

TRABAJO FIN DE GRADO
(ANEXOS)

Grado en Física

Autor:

Iván Coarasa Casas

Director:

Dr. Jorge Mario Puimedón Santolaria

Junio de 2015

Área de Física Atómica, Molecular y Nuclear
Departamento de Física Teórica
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

Anexo A. Radiactividad natural

En la Figura A1 se muestran las cadenas naturales de desintegración radiactiva $4n$ (^{232}Th) y $4n+2$ (^{238}U), en la que se especifica el modo de desintegración (α o β^-), los isótopos que producen emisiones de rayos γ y los períodos de semidesintegración de cada isótopo.

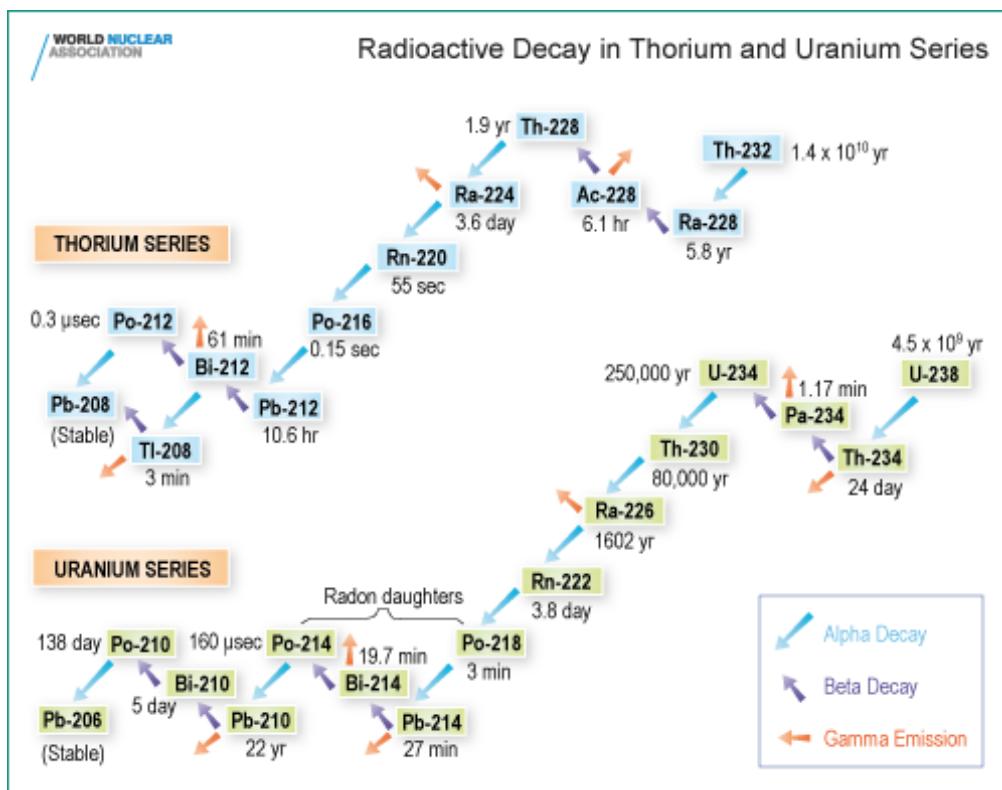


Figura A1. Cadenas de desintegración radiactiva del torio y del uranio^[17].

En la figura A2 se representa el esquema de desintegración del radioisótopo ^{40}K .

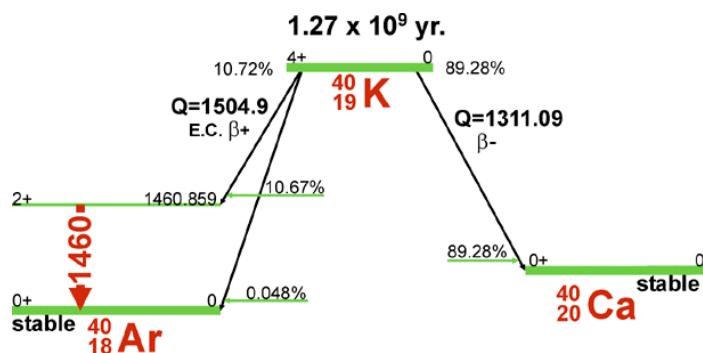


Figura A2. Esquema de desintegración del ^{40}K ^[10].

Anexo B. Cota superior

A diferencia del experimento realizado con el blindaje de plomo, en el que se pueden distinguir dos picos de radiación gamma del ^{228}Ac (338.32 y 911.20 keV), en el experimento con blindaje interno de cobre no pueden distinguirse estos picos del fondo radiactivo. Estimamos el número de cuentas pertenecientes a estos picos como:

Energía (keV)	Cuentas pico	Cuentas fondo	Área
338.32	54.00 ± 7.35	52.50 ± 5.12	1.50 ± 8.96
911.20	10.00 ± 3.16	6.00 ± 1.73	4.00 ± 3.61

Tabla B.1. Área de los picos 338.32 y 911.20 keV del ^{228}Ac en blindaje de cobre.

En ambos casos el área (cuentas del pico menos fondo estimado) es compatible con cero y lo que sí podemos obtener es una cota superior para el área del ^{228}Ac en cada uno de los picos con un cierto nivel de confianza. Para ello aproximamos el área de un pico por una variable aleatoria con distribución gaussiana:

$$N(\mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

donde μ es la media de la distribución y σ su desviación estándar.

La variable x de la distribución gaussiana se extiende desde $-\infty$ hasta $+\infty$, pero sabemos que el número de cuentas detectadas no puede ser negativo, por lo que adoptamos el convenio de renormalizar la densidad de probabilidad a valores positivos^[18]

$$N'(\mu, \sigma) = \frac{1}{\int_0^\infty e^{-(x'-\mu)^2/2\sigma^2} dx'} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (x > 0)$$

Elegimos un nivel de confianza del 95%:

$$\int_{x_+}^\infty \frac{1}{\int_0^\infty e^{-(x'-\mu)^2/2\sigma^2} dx'} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = 0.05$$

Esto quiere decir que si el área real es igual a X_+ o superior, entonces la probabilidad de obtener una medida más pequeña que la observada es del 5% o inferior.

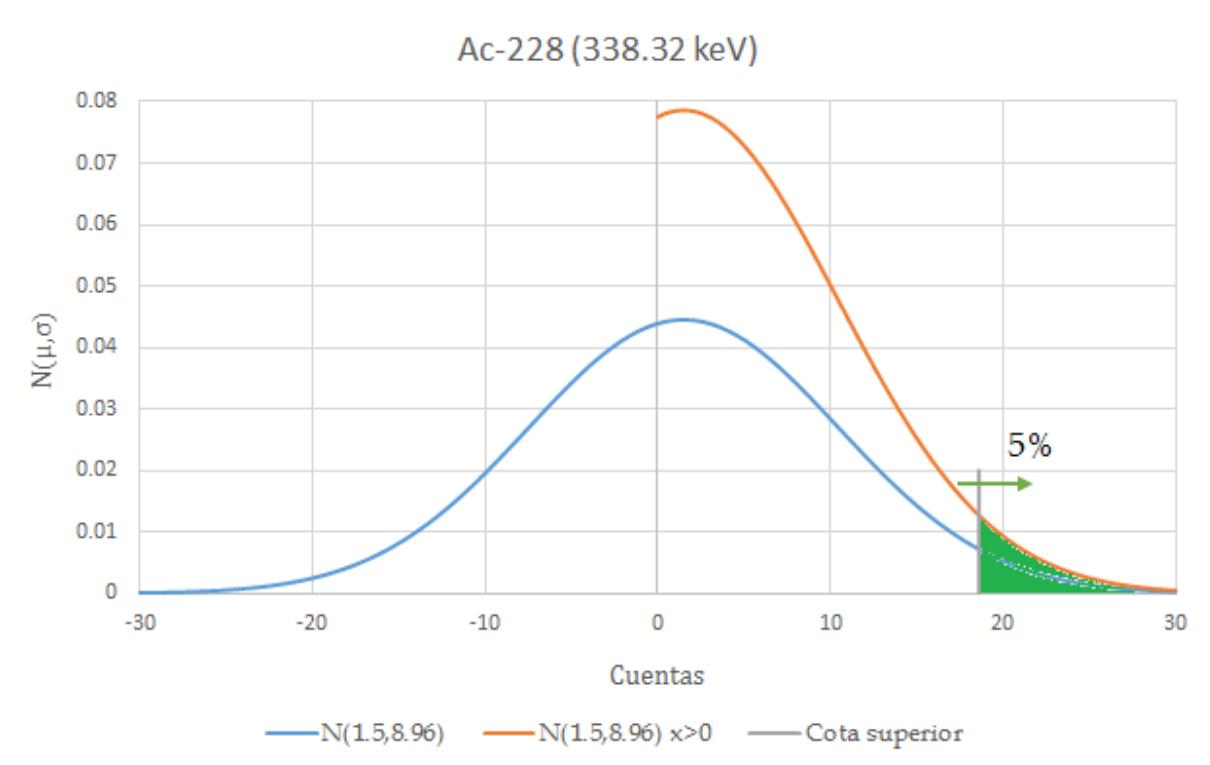


Figura B.1. Área del pico de 338.32 keV del ^{228}Ac con blindaje interno de cobre.

Blindaje interno	Isótopo (Energía)	μ (cuentas)	σ (cuentas)	X_+ (cuentas)
Cobre	^{228}Ac (338.32 keV)	1.50	8.96	18.6
	^{228}Ac (911.20 keV)	4.00	3.61	10.2
	^{56}Co (1238.28 keV)	6.95	9.37	23.5
Plomo	^{214}Pb (241.99 keV)	8.50	7.16	20.7

Tabla B.2. Cotas superiores de ^{228}Ac y ^{56}Co con blindaje interno de cobre y ^{214}Pb con blindaje de plomo.

En la Tabla B.2, además del ^{228}Ac , hemos calculado la cota superior del ^{56}Co en cobre y del ^{214}Pb (241.99 keV) en plomo.

Energía (keV)	Cuentas pico	Cuentas fondo	Área (cuentas)
241.99	37.00 ± 6.08	28.50 ± 3.77	8.50 ± 7.16

Tabla B.3. Área del pico 241.99 keV del ^{214}Pb en blindaje de plomo.

Anexo C. Activación neutrónica

Una activación neutrónica se produce cuando los neutrones interaccionan con los núcleos de un material y originan núcleos radiactivos. Cuando una muestra con n átomos blanco con sección eficaz de reacción $\sigma(E)$ se expone a un flujo de neutrones $\phi(E)$ se producen núcleos hijo a un ritmo $\langle\phi\sigma\rangle n$, con

$$\langle\phi\sigma\rangle = \int_0^\infty \phi(E)\sigma(E)dE$$

A su vez, si el número de núcleos hijo en la muestra es N y su constante de desintegración λ , se desintegran a un ritmo λN . Así, la evolución temporal del número de núcleos hijo es:

$$dN/dt = \langle\phi\sigma\rangle n - \lambda N$$

$$\lambda N(t) \equiv A(t) = \langle\phi\sigma\rangle n \cdot (1 - e^{-\lambda t})$$

donde inicialmente $N(t=0)=0$. $\langle\phi\sigma\rangle n$ se llama actividad de saturación^[19], A_S . Si transcurrido un tiempo t_0 el flujo de neutrones cesa, entonces la actividad disminuye con el tiempo según la expresión

$$A(t) = A(t_0) \cdot e^{-\lambda t} = \langle\phi\sigma\rangle n \cdot (1 - e^{-\lambda t_0}) \cdot e^{-\lambda t}$$

donde t representa el tiempo que ha pasado desde el instante t_0 .

Laubenstein y Heusser^[11] han observado que los radionucleidos cosmogénicos con mayor actividad de saturación producidos en la activación del cobre son:

Radionucleido	Periodo de semi-desintegración $T_{1/2}$	Actividad específica de saturación ($\mu\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) a 1000 m	$\lambda\langle\phi\sigma\rangle (\times 10^{-11} \text{ s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1})$
⁵⁷ Co	272 días	1800 ± 400	5.3 ± 1.2
⁵⁸ Co	70.9 días	1650 ± 90	18.7 ± 1.0
⁶⁰ Co	5.27 años	2100 ± 190	0.88 ± 0.08

Tabla C1. Radionucleidos cosmogénicos de mayor actividad de saturación producidos en la activación del cobre.

La cuarta columna de la Tabla C1 es la pendiente de la recta que se obtiene al representar la actividad $A(t)$ frente al tiempo cuando $\lambda t \ll 1$, y da cuenta de lo rápido que crece la actividad en cada isótopo. Así, aunque el ^{60}Co tenga mayor actividad de saturación, le cuesta más tiempo alcanzarla.

$$\lambda t \ll 1: \quad A(t) = A_S \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \approx A_S \cdot \lambda \cdot t$$

En la Figura C1 se observa una visión general del incremento de la actividad de cada radioisótopo con el tiempo.

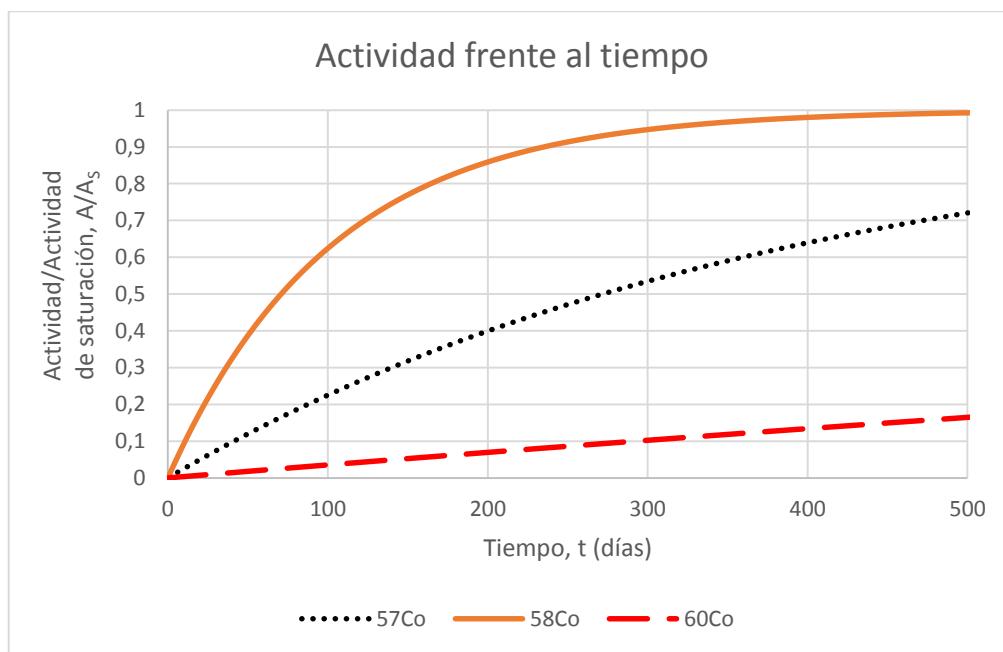


Figura C1. Actividad del ^{57}Co , ^{58}Co y ^{60}Co en función del tiempo.

Bibliografía

¹⁷ WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. *Radioactive Decay in Thorium and Uranium Series* [online]. [viewed 27 February 2015]. Available from: http://www.world-nuclear.org/uploadedImages/org/info/radioactive_decay_series_th_u.png

¹⁸ Probability and confidence. In: Statistics: R. J. BARLOW. *A Guide to the Use of Statistical Methods in the Physical Sciences*. England: John Wiley & Sons Ltd., 1989, pp. 125-134. ISBN: 0-471-92294-3.

¹⁹ Neutrons, fission and criticality. In: J. E. TURNER. *Atoms, Radiation, and Radiation Protection*. 3rd ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007, pp. 228-230. ISBN: 978-3-527-40606-7.