

Parcial 2: Instrumentación Nuclear.

Andrés Felipe Pinzón Harker

4 de marzo de 2025

Dado el espectro de la fig. 1 del documento `22Na-previa2.csv`, acerca del elemento isotópico ^{22}Na se pueden distinguir 3 picos con origen según el decaimiento general [1]: primer pico de energía $E_1 = 33\text{ keV}$ originado por aniquilación de pares positrón-electrón; segundo pico de energía $E_2 = 1274\text{ keV}$ por desexcitación gamma; y el tercer y último pico de energía $E_3 = 1785\text{ keV}$ como pico suma de las radiaciones previas.

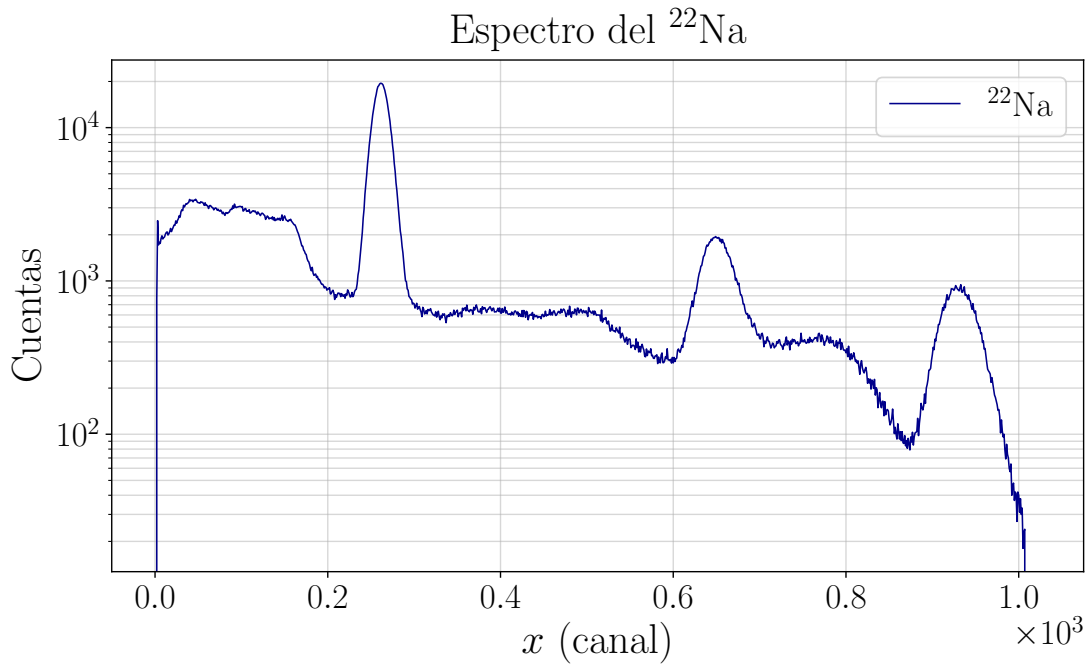


Figura 1: Espectro del ^{22}Na en escala log.

Los ajustes se hacen a partir de la ec. 0.1, que representa la gaussiana con fondo recto $G(x)$

$$G(x) = A \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) + b_0 + b_1x, \quad (0.1)$$

donde x es el canal en unidades de canales, A es la amplitud dada en cuentas, μ el centroide dado en canales, σ la desviación estándar dada en canales y los parámetros b_0 y b_1 los ajustes de la recta de fondo en unidades de cuentas y cuentas/canales, respectivamente.

Ahora vemos los ajustes en las figs.

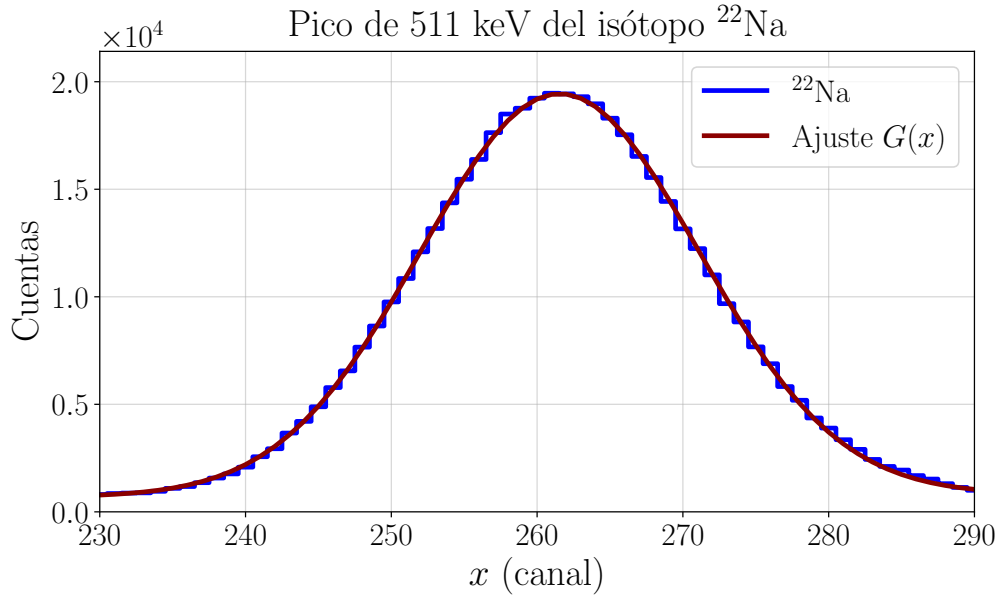


Figura 2: Primer pico asociado a energía $E_1 = 511$ keV con parámetros de ajuste dados en tab. 1.

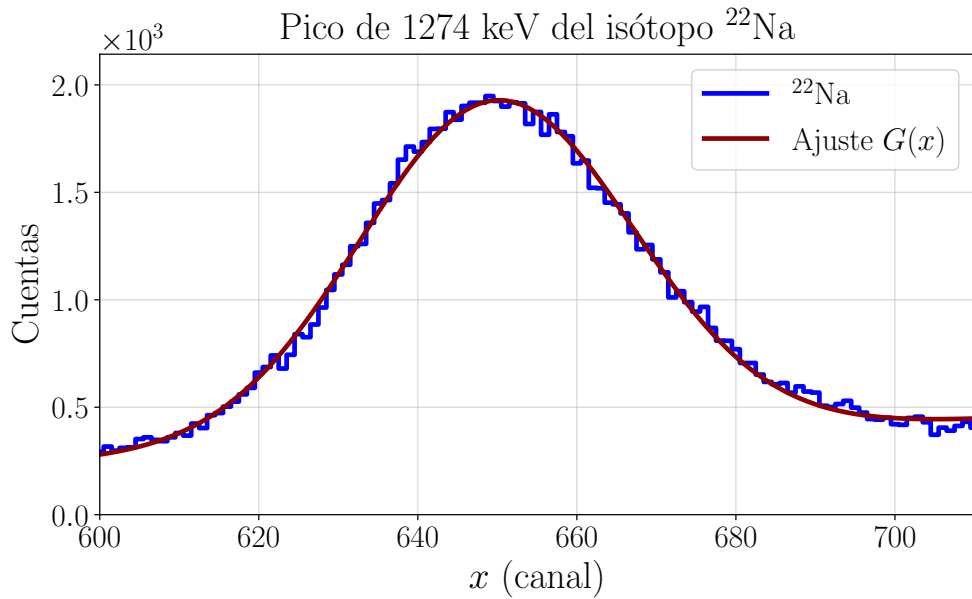


Figura 3: Segundo pico asociado a energía $E_2 = 1274$ keV con parámetros de ajuste dados en tab. 1.

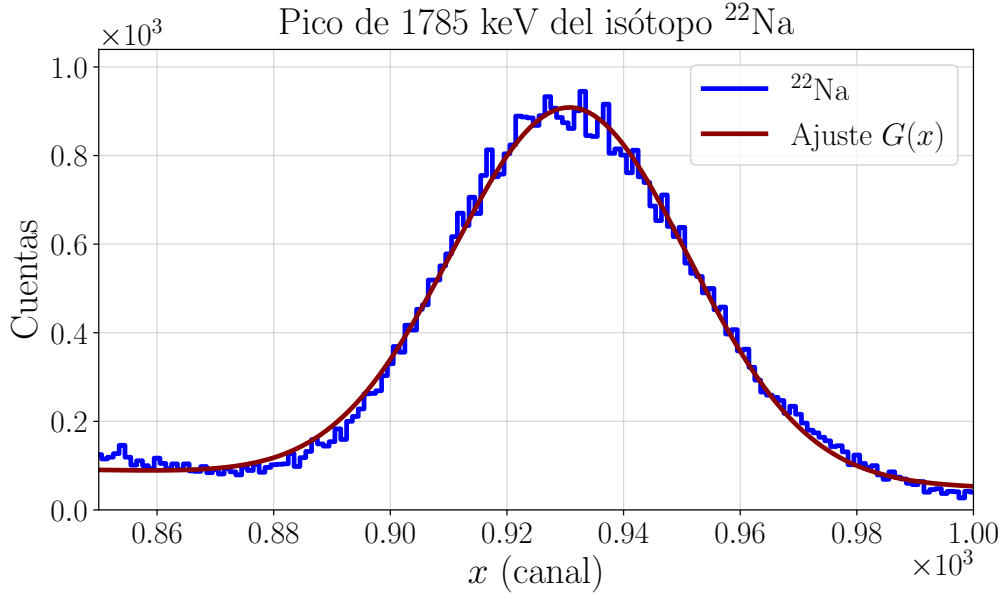


Figura 4: Tercer pico asociado a energía $E_3 = 1785$ keV con parámetros de ajuste dados en tab. 1.

| Pico | I (cuentas) | μ (canal) | σ (canal) |
|-------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| E_1 | $4.47885(15) \times 10^5$ | $2.61544(22) \times 10^2$ | $9.566(26) \times 10^0$ |
| E_2 | $6.8319(7) \times 10^4$ | $6.49899(12) \times 10^2$ | $1.7172(15) \times 10^1$ |
| E_3 | $4.2577(5) \times 10^4$ | $9.3083(16) \times 10^2$ | $2.0229(19) \times 10^1$ |

Tabla 1: Resumen de los resultados obtenidos con sus respectivas incertidumbres para el ajuste realizado al ^{40}K .

La calibración estará dada por la energía E_i y el valor del canal μ_i de cada pico. Se determina entonces que los valores de la linealización de la forma

$$E_\gamma(\text{keV}) = a_0 + a_1 \times x(\text{canal}) \quad (0.2)$$

donde E_γ es la energía del pico, a_0 en keV y a_1 en keV/canal. Se obtiene el resultado en la tabla

| Parámetro | Valor | Unidades |
|-----------|-----------|-----------|
| a_0 | 7.48(9) | keV |
| a_1 | 1.926(30) | keV/canal |

Tabla 2: Parámetros ajustados de las muestras de referencia y de estudio para una energía de 1461 keV.

Para determinar los bordes Compton, se utiliza la ec. 0.4

$$E_C = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{511 \text{ keV}}} \quad (0.3)$$

Y para la retrodispersión se utiliza

$$E_R = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{2E_\gamma}{511 \text{ keV}}} \quad (0.4)$$

| E_γ | E_C | E_R |
|------------|-------|-------|
| keV | | |
| E_1 | 511 | 255.5 |
| E_2 | 853 | 426.8 |
| E_3 | 1162 | 531.5 |

Se detallan los bordes de Compton E_c y los picos de retrodispersión E_R en la fig. 5.

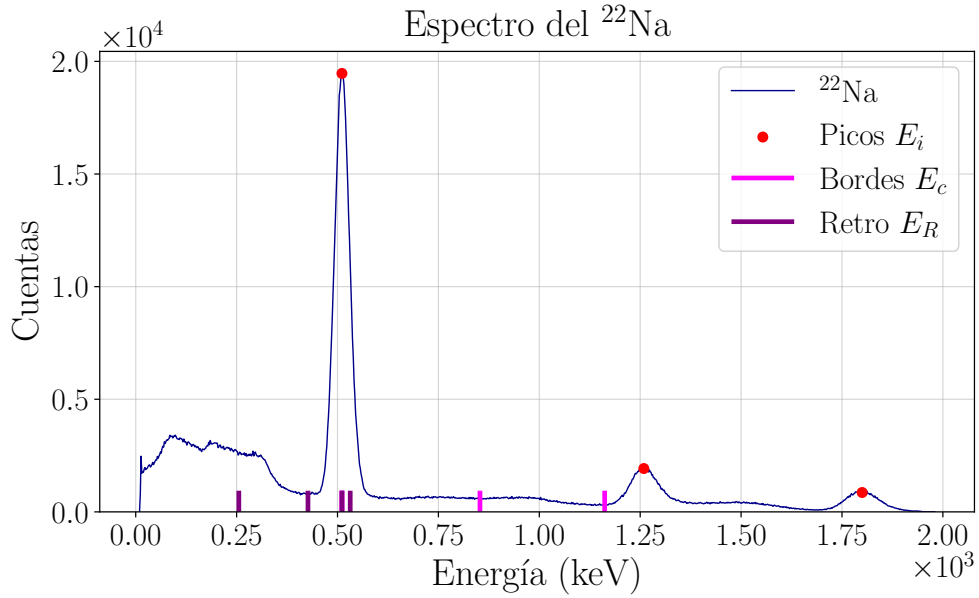


Figura 5: Espectro calibrado para el isótopo ^{22}Na . Véase que en el punto $E_\gamma = 511 \text{ keV}$ se solapan.

Ahora se estudia el espectro del ^{137}Cs con fondo, cuando se realiza la resta con el fondo obtenemos la fig. 6.

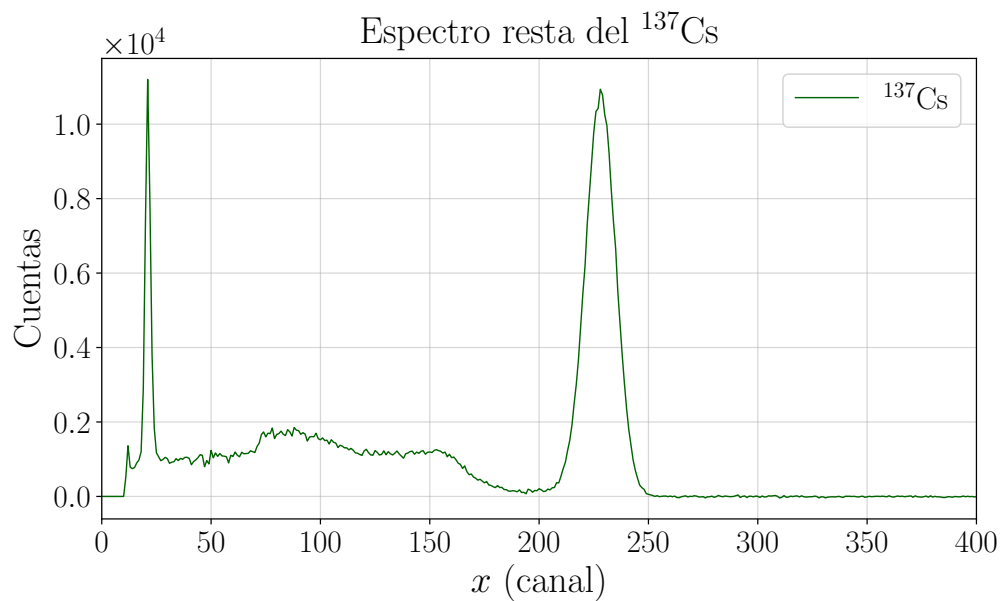


Figura 6: Espectro resta del ^{137}Cs mostrando solo canales con espectro.

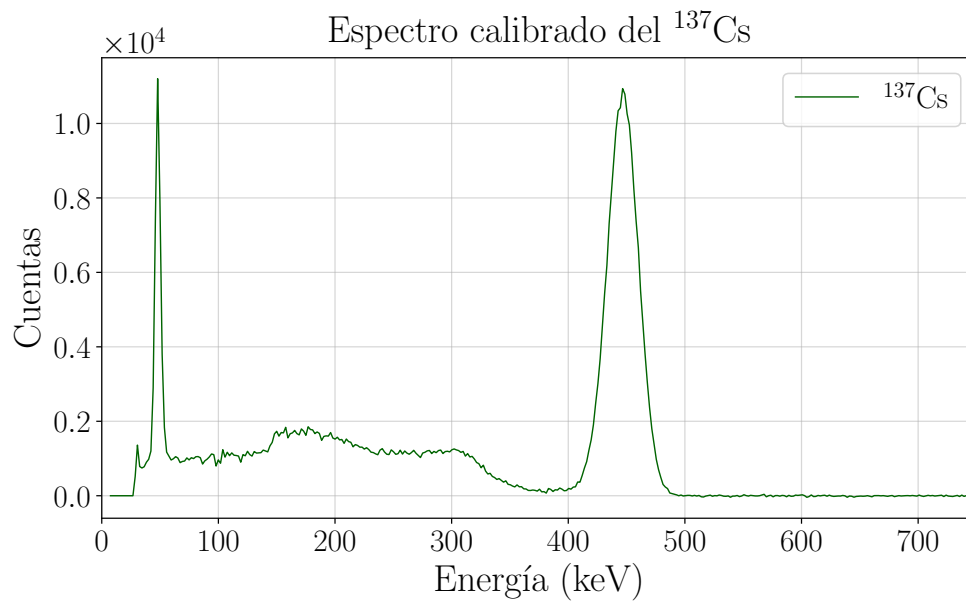


Figura 7: Espectro resta calibrado del ^{137}Cs . Se observa que la calibración no coincide con los picos, se hace entonces un ajuste de último momento para asociar los picos a los requerido.

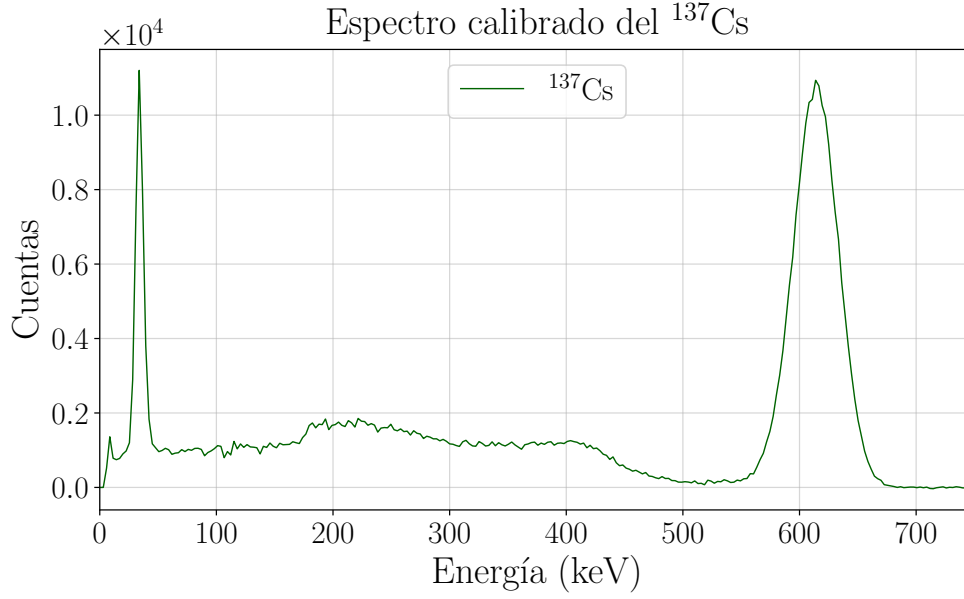


Figura 8: Espectro resta calibrado ^{137}Cs (hecho a las malas porque la calibracion no funciona).

Dada la ec. 0.5 de la eficiencia relativa ϵ

$$\epsilon(\%) = \frac{I_{\gamma}(\text{conteos})}{A(\text{Bq})b_{\gamma}(\%)} \quad (0.5)$$

Si se toma $\epsilon(33 \text{ keV})/\epsilon(662 \text{ keV})$, dado que es el mismo elemento isotópico ^{137}Cs , luego la actividad A será la misma. Así, podríamos cancelar ese valor y obtener

$$f(I, b_{\gamma}) = \frac{I}{b_{\gamma}} \rightarrow r = \frac{I(33 \text{ keV})b_{\gamma}(662 \text{ keV})}{I(662 \text{ keV})b_{\gamma}(33 \text{ keV})} \quad (0.6)$$

Se extraen los picos de interés y se ajusta como previamente

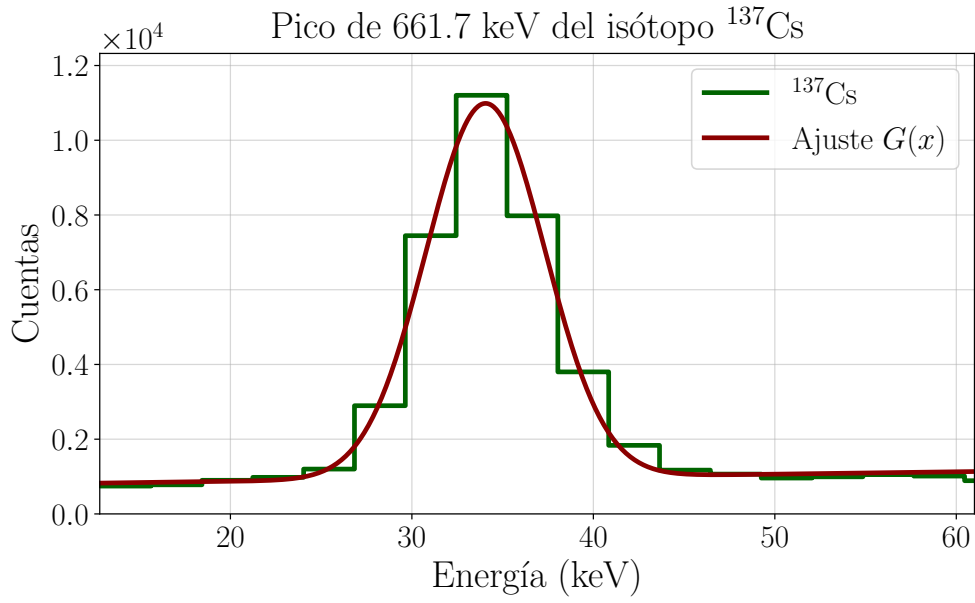


Figura 9: Primer pico asociado a energía $E_1 = 33 \text{ keV}$ con parámetros de ajuste dados en tab.

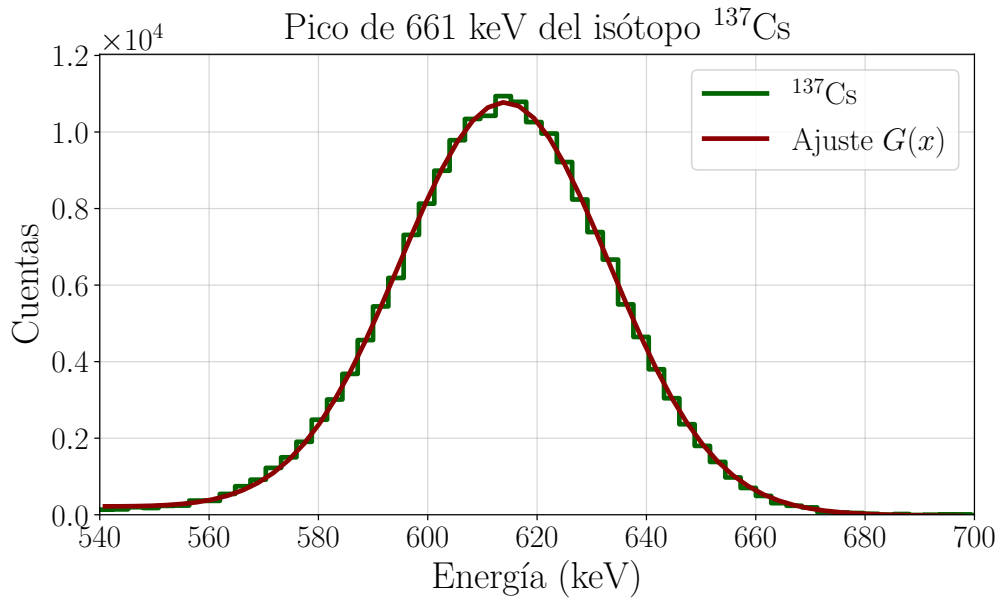


Figura 10: Segundo pico asociado a energía $E_2 = 661 \text{ keV}$ con parámetros de ajuste dados en tab.

Y se reportan en la tabla 3 los ajustes con los valores pedidos.

| Pico | I (cuentas) | μ (canal) | σ (canal) |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| E_1 | $8.236(22) \times 10^4$ | $3.4053(62) \times 10^1$ | $3.277(68) \times 10^0$ |
| E_2 | $5.1297(23) \times 10^5$ | $6.1410(60) \times 10^2$ | $1.9166(70) \times 10^1$ |

Tabla 3: Resultados obtenidos del ajuste.

El ‘‘branching’’ ratio b_γ se extrae del diagrama de decaimiento como los porcentajes según lo que queramos obtener, es decir, si tenemos la fig. 11, observamos que para obtener el pico $E = 661$ keV tomaría primero decaer por β^- al estado excitado $11/2^-$ del isótopo ^{137}Ba con un 94.57 % y luego caer desexcitarse al estado base con una probabilidad de 85.01 %. Luego basta multiplicar estos porcentajes para obtener el decaimiento exclusivo de esa energía E .

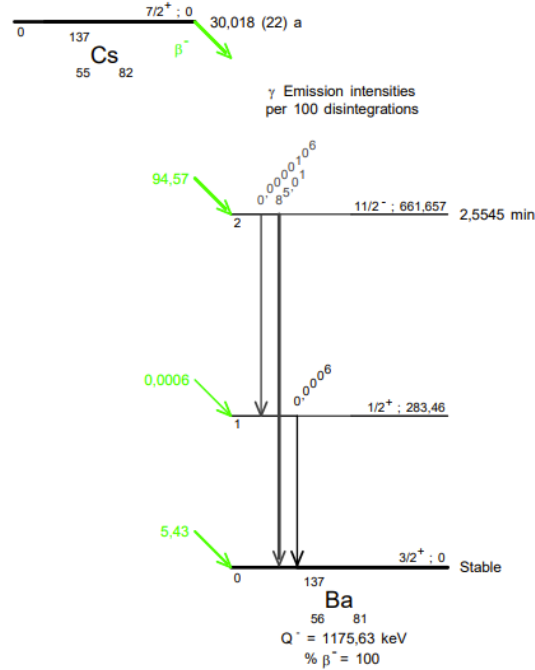


Figura 11: Diagrama de decaimiento tomado de referencia[1]

Pero para el pico $E = 33$ keV de rayos X, no depende de este forma de branching sino tan solo tomamos el porcentaje de las capas que nos suministra la tabla, en este caso $b_\gamma = 80.7$ % Luego obtenemos la tabla ??, donde se reportan los resultados obtenidos por cada b_γ calculado

| E_γ (keV) | I (cuentas) | b_γ (%) | f (cuentas) $\times 10^5$ |
|------------------|--------------------------|----------------|-----------------------------|
| 33 | $8.236(22) \times 10^4$ | 80.4 | 1.024(7) |
| 662 | $5.1297(23) \times 10^5$ | 80.7 % | 6.36(5) |

Finalmente, calculamos los debidos cocientes para determinar r como

$$r = f(33 \text{ keV})/f(661 \text{ keV}) = 0.1612(16) \quad (0.7)$$

con r sin unidades, pues es un cociente.

Referencias

- [1] M.-M. Bé, V. Chisté, C. Dullieu, E. Browne, C. Baglin, V. Chechev, N. Kuzmenko, R. Helmer, F. Kondev, D. MacMahon, and K. Lee, *Table of Radionuclides*, vol. 3 of *Monographie BIPM-5*. Pavillon de Breteuil, F-92310 Sèvres, France: Bureau International des Poids et Mesures, 2006.