

Bloque 4.3

Física Nuclear

Apuntes completos para la PAU: estructura del núcleo atómico, defecto de masa y energía de enlace nuclear, radiactividad natural y leyes de Soddy-Fajans, ley de desintegración radiactiva, periodo de semidesintegración, fisiones y fusiones nucleares. Diagramas, cuadros resumen y diez ejercicios resueltos paso a paso.

Contenido

4.3 Física Nuclear

Núcleo atómico, defecto de masa, energía de enlace, radiactividad, ley de desintegración, fisión y fusión

Apuntes de preparación para la PAU · 2.º de Bachillerato

Ejemplar de muestra gratuito, igual para todos. Prohibida su venta o redistribución sin permiso escrito del titular.

© 2026 PAUmode. Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial, la distribución, la comunicación pública y la transformación de esta obra sin autorización escrita del titular. El incumplimiento podrá dar lugar a las acciones civiles y penales previstas en la legislación sobre propiedad intelectual.

4.3 Física Nuclear

4.3 Nuclear · Núcleo · Energía enlace · Radiactividad · Fisión/Fusión.

4.3.1 · Estructura del núcleo atómico

El **núcleo atómico** está formado por **protones** (carga +e) y **neutrones** (sin carga), ligados por la **fuerza nuclear fuerte** (la más intensa de la naturaleza, actúa solo a distancias del orden de $10^{-15} \text{ m} = 1 \text{ fm}$).

Notación de un núcleo: el número másico A arriba y el número atómico Z abajo, los dos delante del símbolo del elemento.

Z = número atómico = número de protones (identifica el elemento)

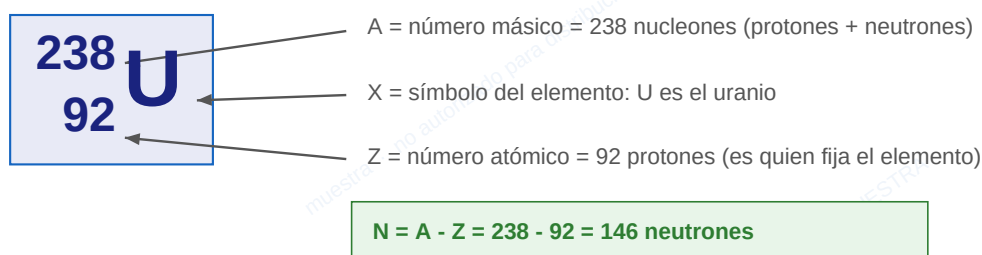
A = número másico = número de nucleones (protones + neutrones)

N = número de neutrones = A - Z

Isótopo: mismo Z, distinto A (mismo elemento, diferente número de neutrones)

Datos: $m_p = 1,007276 \text{ u}$ $m_n = 1,008665 \text{ u}$ $1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Cómo se lee la notación de un núcleo



Dos isótopos comparten Z y cambian A: el U-235 y el U-238 son los dos uranios.

Figura 1 - Cómo se lee la notación de un núcleo, con el uranio-238 de ejemplo. A va arriba y Z abajo, los dos pegados a la izquierda del símbolo; los neutrones no se escriben, se deducen restando $N = A - Z$.

Isótopos en la PAU. Los isótopos de un elemento tienen las mismas propiedades químicas (mismo Z, mismos electrones) pero diferente masa y estabilidad nuclear. Ejemplos: H-1, H-2 (deuterio), H-3 (tritio); C-12 y C-14 (radiactivo, usado en datación).

4.3.2 · Defecto de masa y energía de enlace nuclear

La masa del núcleo es **menor** que la suma de las masas de sus nucleones libres. Esta diferencia de masa se denomina **defecto de masa** Δm , y corresponde (vía $E = mc^2$) a la **energía de enlace** que mantiene unido el núcleo:

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A-Z) \cdot m_n - m_{\text{núcleo}} \quad (\text{defecto de masa})$$

$$E_e = \Delta m \cdot c^2 \quad (\text{energía de enlace total})$$

$$E_e / A = \text{energía de enlace por nucleón (estabilidad relativa)}$$

$$\text{Conversión práctica: } 1 \text{ u} \cdot c^2 = 931,5 \text{ MeV}$$

$$E_e \text{ (MeV)} = \Delta m \text{ (u)} \cdot 931,5 \text{ MeV/u}$$

La energía de enlace por nucleón E_e/A es la medida de la **estabilidad nuclear**. El máximo se alcanza en el hierro (^{56}Fe , $E_e/A \approx 8,8 \text{ MeV/nucleón}$). Los núcleos más ligeros y más pesados tienen menor E_e/A , lo que explica que la fusión de núcleos ligeros y la fisión de núcleos pesados liberen energía.

Error típico. El defecto de masa SIEMPRE es positivo (el núcleo pesa menos que sus componentes libres). Si te sale negativo, has restado al revés. La fórmula correcta: $\Delta m = (\text{suma de masas libres}) - (\text{masa del núcleo})$.

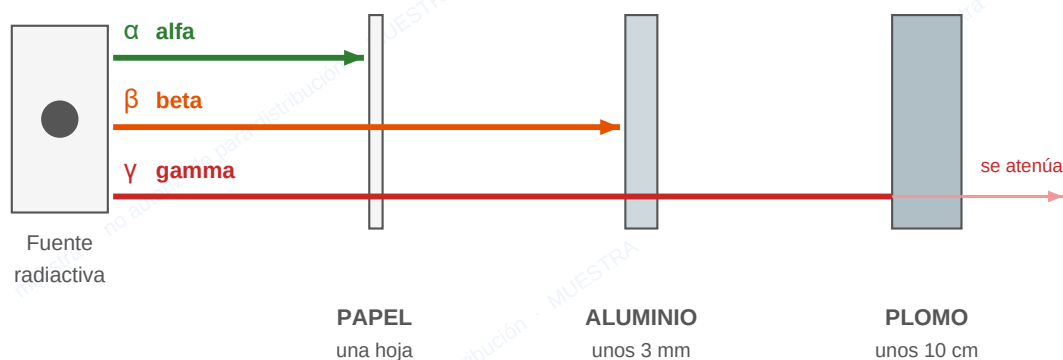
4.3.3 · Radiactividad natural: leyes de Soddy-Fajans

Los núcleos inestables se transforman espontáneamente en núcleos más estables emitiendo radiación. Las **leyes de Soddy-Fajans** establecen la conservación del número másico A y del número atómico Z en las reacciones nucleares.

Emisión	Qué sale del núcleo	Carga	Poder de penetración	Cambio en Z y en A
α (alfa)	un núcleo de helio-4 (2 protones + 2 neutrones)	+2e	baja: la para una hoja de papel	Z - 2 / A - 4
β^- (beta menos)	un electrón: un neutrón pasa a protón	-1e	media: la para 3 mm de aluminio	Z + 1 / A no cambia
β^+ (beta más)	un positrón: un protón pasa a neutrón	+1e	media: la para 3 mm de aluminio	Z - 1 / A no cambia
γ (gamma)	un fotón de mucha energía, sin masa	0	alta: hacen falta unos 10 cm de plomo	Z y A no cambian

Tabla 1 - Las cuatro emisiones radiactivas y qué le hacen a Z y a A. La emisión gamma acompaña a la alfa y a la beta cuando el núcleo hijo queda excitado: no cambia ni Z ni A, solo saca la energía sobrante.

Poder de penetración: qué frena a cada radiación



El color mide el poder de penetración: verde bajo (alfa), ámbar medio (beta), rojo alto (gamma).

Figura 2 - Poder de penetración de las tres radiaciones. A la alfa la para una hoja de papel; a la beta, 3 mm de aluminio; la gamma atraviesa 10 cm de plomo y solo se atenúa, nunca se corta del todo.

Desintegración α (alfa): ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}$

Desintegración β^- (beta menos): ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + e^- + \text{antineutrino}$

Desintegración β^+ (beta más): ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + e^+ + \text{neutrino}$

Emisión γ (gamma): ${}^A_ZX^* \rightarrow {}^A_ZX + \text{fotón gamma}$ (Z y A no cambian)

Truco. Para completar una reacción nuclear: la suma de A en reactivos = suma de A en productos; lo mismo con Z. Si falta un núcleo: $A_X = A_{\text{total}} - \text{suma resto}$; $Z_X = Z_{\text{total}} - \text{suma resto}$. Luego busca el elemento con ese Z en la tabla periódica.

4.3.4 · Ley de desintegración radiactiva

La desintegración radiactiva es un proceso estadístico: cada núcleo tiene una probabilidad de desintegrarse por unidad de tiempo. El número de núcleos decrece exponencialmente con el tiempo:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \text{ (ley de desintegración)}$$

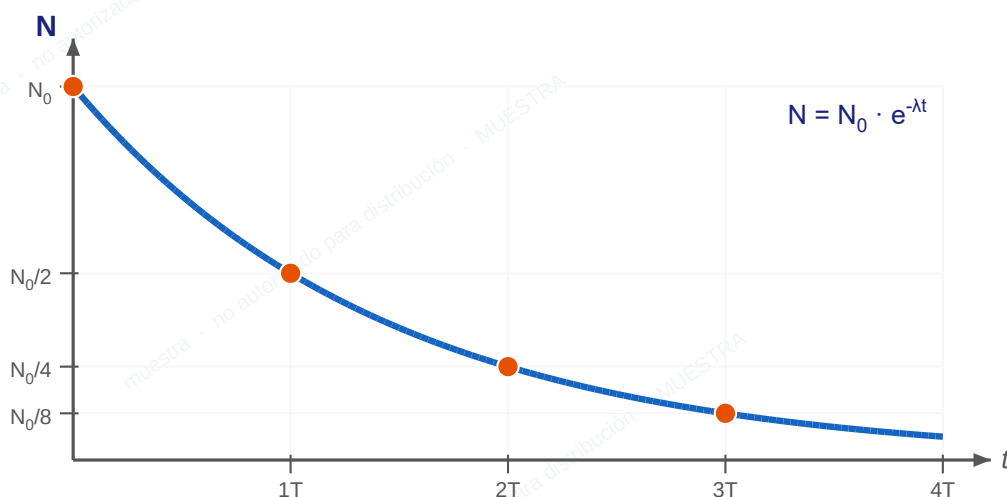
$$\lambda = \text{constante de desintegración (s}^{-1}\text{)}$$

$$T_{1/2} = \text{periodo de semidesintegración: } T_{1/2} = \ln 2 / \lambda \approx 0,6931 / \lambda$$

$$\text{Vida media: } \tau = 1 / \lambda = T_{1/2} / \ln 2 \approx 1,4427 \cdot T_{1/2}$$

$$\text{Actividad: } A(t) = \lambda \cdot N(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \text{ (Bq = desint/s)}$$

$$\text{Atajo: tras } n \text{ semividas: } N = N_0 \cdot (1/2)^n$$



$T = T_{1/2}$ (periodo de semidesintegración). Cada punto naranja marca una semivida: N se reduce a la mitad.

Figura 3 - Curva de desintegración radiactiva $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$. En cada semivida $T_{1/2}$ el número de núcleos se reduce a la mitad. La curva es siempre decreciente y nunca llega a cero.

PAU - Atención. El atajo de las semividas es muy útil en la PAU: si $t = n \cdot T_{1/2}$, directamente $N = N_0 / 2^n$. Recuerda que 1 Curie (Ci) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq, un valor fijado por convenio a partir de la actividad aproximada de 1 g de Ra-226. La unidad del SI es el Becquerel (Bq = 1 desintegración/s).

4.3.5 · Reacciones nucleares: Fisión y Fusión

Fisión nuclear: un núcleo pesado (como U-235) absorbe un neutrón y se rompe en dos núcleos más ligeros y varios neutrones, liberando una gran cantidad de energía. Esta energía proviene del defecto de masa: los productos pesan menos que los reactivos.

Fusión nuclear: dos núcleos ligeros (como H-2 y H-3) se unen para formar un núcleo más pesado, también con liberación de energía. Ocurre en las estrellas y es la base de la bomba de hidrógeno. Se investiga para energía de fusión controlada (ITER).

Energía liberada en cualquier reacción nuclear:

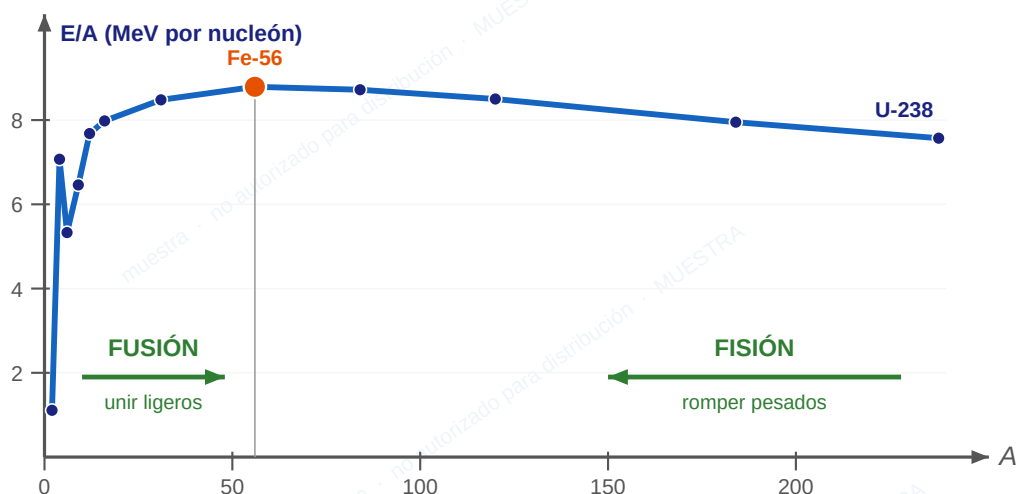
$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = \Delta m \text{ (u)} \cdot 931,5 \text{ MeV}$$

$$\Delta m = \text{masa}_{\text{reactivos}} - \text{masa}_{\text{productos}}$$

Si $\Delta m > 0$: reacción exotérmica (libera energía)

Si $\Delta m < 0$: reacción endotérmica (necesita energía)

Energía de enlace por nucleón frente al número másico



El máximo está en el Fe-56 (8,8 MeV por nucleón): es el núcleo más estable. Las dos flechas van hacia él y las dos liberan energía.

Figura 4 - Energía de enlace por nucleón frente al número másico. Es la curva que explica de un vistazo por qué la fusión de núcleos ligeros y la fisión de núcleos pesados liberan las dos energía: las dos mueven los núcleos hacia el máximo del hierro-56.

Fisión vs. Fusión. Fisión (U-235): libera unos 200 MeV por reacción contándolo todo. El balance de masas de una sola vía, como la del ejercicio 9, da unos 173 MeV; el resto llega después, con la desintegración de los fragmentos. Produce residuos radiactivos. Fusión (D+T $\rightarrow$ He-4+n): libera unos 17,6 MeV por reacción, pero el combustible (deuterio) es abundante en el mar y los residuos son mucho menos peligrosos. La fusión controlada aún no es viable comercialmente.

Ejercicios - Sección 4.3

Diez ejercicios tipo PAU de física nuclear. En rojo el método; en azul los cálculos numéricos paso a paso.

1. El uranio-238 emite una partícula alfa. Escribe la reacción de desintegración e identifica el núcleo hijo. (El uranio tiene $Z = 92$.)

Desintegración alfa: se emite un núcleo de helio-4 (2 protones + 2 neutrones). Aplicamos conservación de A (número másico) y Z (número atómico).

$$\text{Conservación A: } 238 = A_Y + 4 \Rightarrow A_Y = 234$$

$$\text{Conservación Z: } 92 = Z_Y + 2 \Rightarrow Z_Y = 90 \text{ (Torio, Th)}$$



Resultado final: ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$

2. El carbono-14 emite una partícula beta menos (e^-). Escribe la reacción y el núcleo hijo. (El carbono tiene $Z = 6$.)

Desintegración β^- : un neutrón se convierte en protón + electrón. Z aumenta en 1, A no cambia.

$$\text{Conservación A: } 14 = A_Y \Rightarrow A_Y = 14$$

$$\text{Conservación Z: } 6 = Z_Y - 1 \Rightarrow Z_Y = 7 \text{ (Nitrógeno, N)}$$



Resultado final: ${}_{6}^{14}\text{C} \rightarrow {}_{7}^{14}\text{N} + e^- + \text{antineutrino}$

3. Calcula el defecto de masa y la energía de enlace del núcleo de helio-4 (la partícula alfa). Datos: $m_H = 1,007825 \text{ u}$, $m_n = 1,008665 \text{ u}$, $m(\text{He-4}) = 4,002602 \text{ u}$.

Usamos masas atómicas consistentes: m_H (átomo de hidrógeno) en vez de m_p (protón desnudo), porque $m(\text{He-4})$ es masa atómica (incluye electrones). Los electrones se cancelan en el cálculo.

$Z = 2$ (protones), $N = A - Z = 4 - 2 = 2$ (neutrones)

${}^4_2\text{He}$ = el núcleo que estamos pesando

$$\Delta m = 2 \cdot m_H + 2 \cdot m_n - m(\text{He-4})$$

$$\Delta m = 2 \cdot 1,007825 + 2 \cdot 1,008665 - 4,002602$$

$$\Delta m = 2,015650 + 2,017330 - 4,002602 = 0,030378 \text{ u}$$

$$E_e = 0,030378 \cdot 931,5 = 28,30 \text{ MeV}$$

$$E_e / A = 28,30 / 4 = 7,07 \text{ MeV/nucleón}$$

Resultado final: $\Delta m = 0,030378 \text{ u}$ | $E_e = 28,30 \text{ MeV}$ | $E_e / A = 7,07 \text{ MeV/nucleón}$

4. El yodo-131 tiene $T_{1/2} = 8,02$ días. Una muestra inicial tiene $N_0 = 1,0 \cdot 10^{12}$ átomos. ¿Cuántos quedan tras 24 días? ¿Y tras 40 días?

Usamos el atajo de semividas: tras n semividas, $N = N_0 \cdot (1/2)^n$. Calculamos $n = t/T_{1/2}$.

Tras 24 días: $n = 24/8,02 = 2,99 \approx 3$ semividas (se redondea a 3)

$$N = N_0 \cdot (1/2)^3 = 10^{12} / 8 = 1,25 \cdot 10^{11} \text{ átomos}$$

Tras 40 días: $n = 40/8,02 = 4,99 \approx 5$ semividas

$$N = N_0 \cdot (1/2)^5 = 10^{12} / 32 = 3,13 \cdot 10^{10} \text{ átomos}$$

Resultado final: $N(24 \text{ d}) = 1,25 \cdot 10^{11}$ | $N(40 \text{ d}) = 3,13 \cdot 10^{10}$

5. El radón-222 tiene $T_{1/2} = 3,82$ días. Calcula la constante de desintegración λ y la vida media τ .

De $T_{1/2}$ obtenemos $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ y luego $\tau = 1/\lambda$.

$$T_{1/2} = 3,82 \text{ días} = 3,82 \cdot 86400 = 3,300 \cdot 10^5 \text{ s}$$

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 0,6931 / 3,300 \cdot 10^5 = 2,10 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

$$\tau = 1/\lambda = 1 / 2,10 \cdot 10^{-6} = 4,76 \cdot 10^5 \text{ s} = 5,51 \text{ días}$$

Resultado final: $\lambda = 2,10 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} \mid \tau = 5,51 \text{ días}$

6. Una muestra de yodo-131 ($T_{1/2} = 8 \text{ días}$) tiene una actividad inicial $A_0 = 3,7 \cdot 10^8 \text{ Bq}$. ¿Cuánto vale la actividad al cabo de 32 días?

La actividad decrece igual que N: $A = A_0 \cdot (1/2)^n$ con $n = t/T_{1/2}$.

$$n = t/T_{1/2} = 32/8 = 4 \text{ semividas}$$

$$A = A_0 \cdot (1/2)^4 = 3,7 \cdot 10^8 \cdot (1/16)$$

$$A = 3,7 \cdot 10^8 / 16 = 2,31 \cdot 10^7 \text{ Bq}$$

Resultado final: $A(32 \text{ días}) = 2,31 \cdot 10^7 \text{ Bq}$

7. En 48 días una muestra radiactiva pasa de $N_0 = 8 \cdot 10^9$ a $N = 10^9$ átomos. ¿Cuál es el periodo de semidesintegración?

$N/N_0 = 1/8 = (1/2)^n \Rightarrow n = 3 \text{ semividas en 48 días. Despejamos } T_{1/2}$.

$$N/N_0 = 10^9 / 8 \cdot 10^9 = 1/8 = (1/2)^3$$

Han transcurrido 3 semividas en 48 días

$$T_{1/2} = 48 / 3 = 16 \text{ días}$$

Resultado final: $T_{1/2} = 16 \text{ días}$

8. Reacción de fusión: el deuterio (H-2) y el tritio (H-3) se unen y dan helio-4 más un neutrón. Calcula la energía liberada. Masas: $m(D) = 2,01410 \text{ u}$, $m(T) = 3,01605 \text{ u}$, $m(\text{He-4}) = 4,00260 \text{ u}$, $m_n = 1,00867 \text{ u}$.

Calculamos el defecto de masa entre reactivos y productos. La diferencia de masa se convierte en energía vía $E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV}$.



Masa reactivos: $2,01410 + 3,01605 = 5,03015 \text{ u}$

Masa productos: $4,00260 + 1,00867 = 5,01127 \text{ u}$

$\Delta m = 5,03015 - 5,01127 = 0,01888 \text{ u}$

$\Delta E = 0,01888 \cdot 931,5 = 17,59 \text{ MeV}$

Resultado final: $\Delta E = 17,59 \text{ MeV}$ por reacción de fusión D-T

9. Reacción de fisión: el U-235 absorbe un neutrón y se rompe en Ba-141, Kr-92 y 3 neutrones. Calcula la energía liberada. Masas: $m(\text{U-235}) = 235,044 \text{ u}$, $m(\text{n}) = 1,009 \text{ u}$, $m(\text{Ba-141}) = 140,914 \text{ u}$, $m(\text{Kr-92}) = 91,926 \text{ u}$.

Calculamos la diferencia de masa entre reactivos y productos. Hay que contar el neutrón incidente en los reactivos y los 3 neutrones en productos.



Masa reactivos: $235,044 + 1,009 = 236,053 \text{ u}$

Masa productos: $140,914 + 91,926 + 3 \cdot 1,009 = 235,867 \text{ u}$

$\Delta m = 236,053 - 235,867 = 0,186 \text{ u}$

$\Delta E = 0,186 \cdot 931,5 = 173,3 \text{ MeV}$

Resultado final: $\Delta E = 173,3 \text{ MeV}$ por fisión del U-235

10. Calcula la actividad de una muestra de Ra-226 ($T_{1/2} = 1600 \text{ años}$) que contiene $N = 2,0 \cdot 10^{20}$ núcleos. Expresa en Bq y en Ci ($1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$).

La actividad es $A = \lambda \cdot N$. Primero calculamos λ con $T_{1/2}$ en segundos.

$$T_{1/2} = 1600 \text{ años} \cdot 365,25 \text{ d} \cdot 86400 \text{ s} = 5,049 \cdot 10^{10} \text{ s}$$

$$\lambda = 0,6931 / 5,049 \cdot 10^{10} = 1,373 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$$

$$A = \lambda \cdot N = 1,373 \cdot 10^{-11} \cdot 2,0 \cdot 10^{20} = 2,75 \cdot 10^9 \text{ Bq}$$

$$\text{En Ci: } 2,75 \cdot 10^9 / 3,7 \cdot 10^{10} = 0,074 \text{ Ci}$$

El Curie nació de la actividad de 1 g de Ra-226, pero desde 1964 vale por convenio $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq exactos. Ese gramo de radio da en realidad 0,989 Ci: la coincidencia es aproximada, no exacta.

Resultado final: $A = 2,75 \cdot 10^9$ Bq = 0,074 Ci