Decaimiento α

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$

$${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He \qquad T_{1/2} \sim 10^{9}\ Y$$

$${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He \qquad T_{1/2} \sim 10^{3}\ Y$$

Antes decaimiento: ${}^{226}_{88}Ra$ $\quad K_{Ra} = 0$, $\quad P_{Ra} = 0$

Después decaimiento: K_{Rn}, $\leftarrow {}^{222}_{86}Rn$, P_{Rn} $\qquad \alpha \xrightarrow[P_\alpha]{K_\alpha}$

Energía de desintegración → K. energy of the products

$$Q = (M_X - M_Y - M_\alpha)c^2$$

ó $$Q = (M_X - M_Y - M_\alpha) \times 931.494 \left(\frac{MeV}{u}\right)$$

24/03/14

fracc. de energía de α después de la desintegración:

$$Q = K_Y + K_\alpha$$
$$P_y = P_\alpha$$

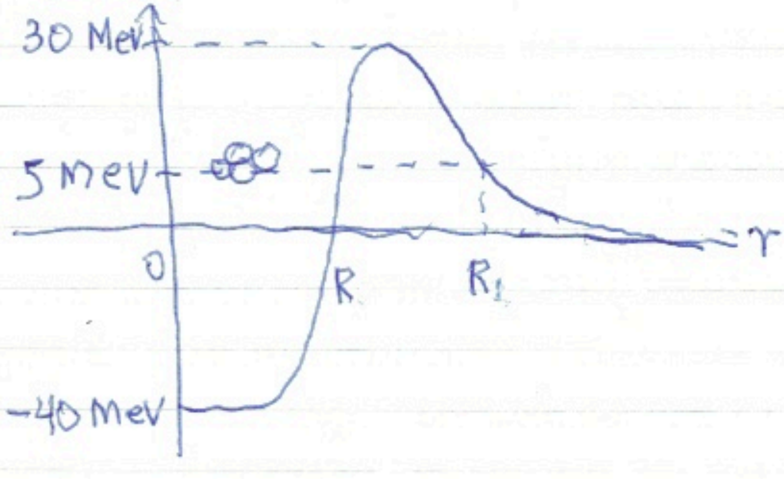
y como $K_\alpha (\sim MeV) \ll M_\alpha c^2 (10^3 MeV)$
y $K_y \ll M_Y c^2 (200\ BeV)$ $\quad Y = {}^{222}Rn$

→ usar mecánica clásica.

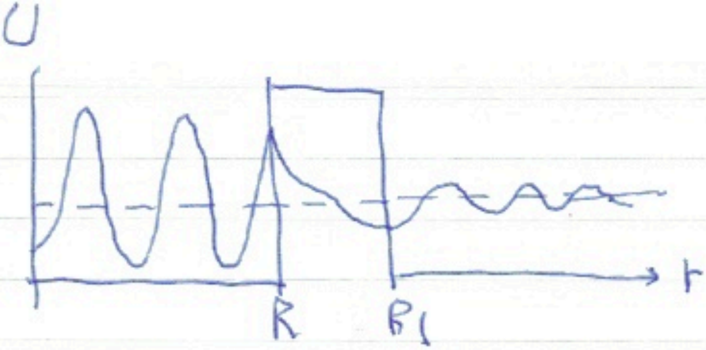
$$Q = K_y + K_\alpha \qquad P_y = P_\alpha$$
$$= \frac{P_y^2}{2M_y} + \frac{P_\alpha^2}{2M_\alpha} = \underbrace{\frac{P_\alpha^2}{2M_\alpha}}_{K_\alpha}\left(1 + \frac{M_\alpha}{M_y}\right)$$

$$\Rightarrow K_\alpha = \frac{Q}{1 + \frac{M_\alpha}{M_y}} = \frac{M_y}{M_y + M_\alpha} Q \quad //$$

α - decay



Efecto túnel



EX) P. de escape de α desde ${}^{226}_{88}Ra$, con energía de desintegración 5 Mev.

$$T(E) \simeq \exp\left\{-\frac{2}{\hbar}\sqrt{2m}\int\sqrt{U(r)-E}\,dr\right\}$$

región prohibida: R, y $R_1 = 2Zke^2/E$

$$\int\sqrt{U-E}\,dr = \sqrt{E}\int_R^{R_1}\sqrt{\frac{R_1}{r}-1}\,dr = R_1\sqrt{E}\int_{R/R_1}^{1}\sqrt{\frac{1}{z}-1}\,dz$$

con $z = r/R_1$. Usando $R \sim 10$ fm, $R_1 \sim 50$ fm para $E \sim 5$ Mev

$$z=\cos^2\theta \longrightarrow \int_0^1\sqrt{\frac{1}{z}-1}\,dz = 2\int_0^{\pi/2}\sin^2\theta\,d\theta = \int_0^{\pi/2}(1-\cos 2\theta)\,d\theta = \pi/2$$

better aprox:

$$\int_{R/R_1}^{1} \approx \int_0^1 - \int_0^{R/R_1}$$

$$\int_0^1 \sqrt{\frac{1}{z}-1}\,dz - \int_0^{R/R_1}\sqrt{\frac{1}{z}-1} \simeq \frac{\pi}{2} - \int_0^{R/R_1}\frac{dz}{\sqrt{z}} = \frac{\pi}{2} - 2\sqrt{\frac{R}{R_1}}$$

usando $R_1 = 2Zke^2/E$

$$\Rightarrow T(E) = \exp\left\{-4\pi Z\sqrt{(E_0/E)} + 8\sqrt{Z(R/r_0)}\right\}$$

$$r_0 = \frac{\hbar^2}{M_\alpha k e^2} \sim 7.25 \text{ fm}$$

$$E_0 = \frac{ke^2}{2r_0} = 0.0993 \text{ Mev.}$$

now $^{226}_{88}Ra \to {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$

de $R = r_0 A^{1/3} \Rightarrow R = 7.27$ fm

$$\Rightarrow T(E) = \exp\Big[-4\pi\times 86\sqrt{(0.093/5)} +$$

$$8\sqrt{86(7.27/7.25)}\Big] \simeq \exp(-78) = 1.32\times 10^{-34}$$

$$f = \frac{v}{2R} \simeq \sqrt{\frac{2E}{m_\alpha}}\,\frac{1}{2R} \sim 10^{21} \ \frac{\text{colis}}{\text{seg}}$$

$$\Rightarrow \frac{\text{decaimientos}}{\text{segundo}} \sim f\times T \sim 10^{-13} \ \left(\text{experim: } 10^{-11}\,s^{-1}\right)$$

Decaimiento Beta

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + e^-$$

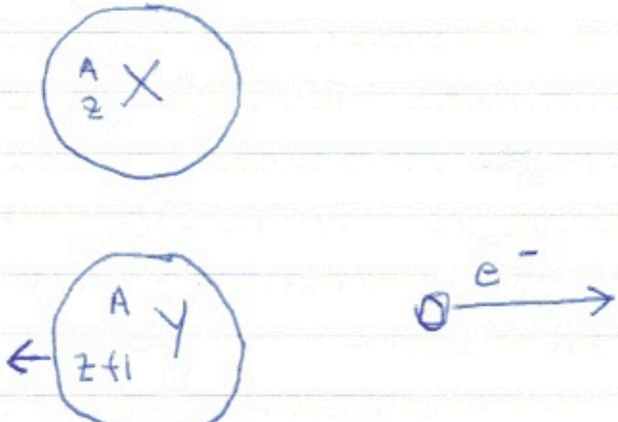
$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + e^+$$

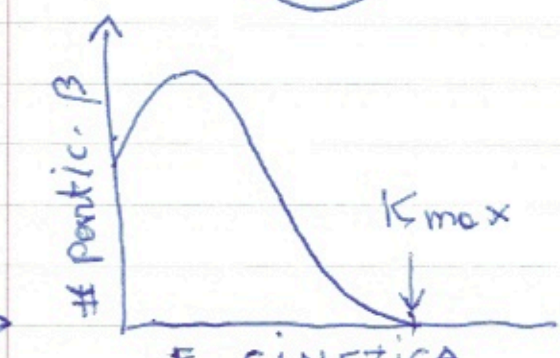
Ej: ${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + e^-$

${}^{12}_{7}N \rightarrow {}^{12}_{6}C + e^+$

no presentes

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$
$$p \rightarrow n + e^+$$





curva experimental

<u>Problema</u>: valor Q es el mismo en cada decaimiento.

⇒ partículas β tienen <u>diferentes</u> energías

↓

se viola la cons. de energía?

También hay problemas con el SPIN

Pauli (1930) → ∃ tercera partícula q̄ balancea los ecuaciones : NEUTRINO
Descubierto en 1956.

- carga cero
- $m \ll m_e$. $m < 2.8\ eV/c^2$
- SPIN 1/2
- débil interacción con la materia

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + e^- + \bar{\nu}$$

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + e^+ + \nu$$

→

Datación por Carbono

Se mide la actividad causada por el decaimiento β del ^{14}C.

^{14}C → vida media de 5730 años ⇒ después de $t = T_{1/2}$ aún queda bastante
Si se usa ^{11}C ($T_{1/2}$ muy corta) No sirve

Captura electrónica (ē orbital capturado por núcleo)

$$ {}^{A}_{Z}X + \bar{e} \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \nu $$

Ej. $ {}^{7}_{4}Be + e^{-} \longrightarrow {}^{7}_{3}Li + \nu $

EX: $m = 25$ gr. de carbon
. se observa ^{14}C de 250 dec/min
¿cuál es la edad del árbol?

(i) calc. λ para ^{14}C ($T_{1/2} = 5730$ años)

$$\lambda \simeq \frac{0.693}{T_{1/2}} = 3.83 \times 10^{-12}\ s^{-1}$$

(ii) El # de nucleos de ^{12}C en 25 gr. de carbon es

N_0 — 12 gr
x — 25 gr

$$x = 6.02 \times 10^{23} (25/12)$$
$$= 1.26 \times 10^{24} \text{ núcleos de } ^{12}C$$

pero como $\frac{^{14}C}{^{12}C} = 1.3 \times 10^{-12}$ (cuando el árbol estaba vivo)

$\Rightarrow$ # de ^{14}C $= 1.3 \times 10^{-12} \times 1.26 \times 10^{24} = 1.6 \times 10^{12}$ inicial.

(iv) $R_0 = N_0 \lambda = 1.6 \times 10^{12} \times 3.83 \times 10^{-12} = 370 \frac{dec}{min}$

(v) $R = R_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{R}{R_0} = e^{-\lambda t} \Rightarrow t = -\frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right)$

$250\, s^{-1}$
$370\, s^{-1}$

$= 3.2 \times 10^3$ años

DECAIMIENTO Gama

$$^{A}_{Z}X^{*} \longrightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$$

← rayo gamma (1 MeV – 1 GeV)

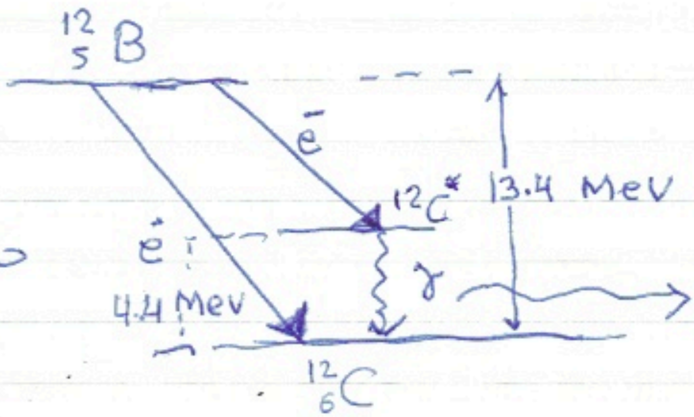
(vida media $\sim 10^{-10}$ s)

Ej)

$$^{12}_{5}B \rightarrow {}^{12}_{6}C^{*} + e^{-} + \bar{\nu}$$

$$^{12}_{6}C^{*} \rightarrow {}^{12}_{6}C + \gamma$$

2 posibles canales de decaimiento



(i) dec. directo al G.S. del ^{12}C emitiendo u[n] e^{-} de 13.4 MeV

(ii) dec. β a $^{12}C^{*}$, luego γ-decay a ^{12}C

captura electrónica

Y ?

$$^{A}_{Z}X + e^{-} \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \nu$$

un protón se combina con el e^{-} para formar un n
e^{-}, de la capa inferior
sólo ocurre <u>dentro</u> del núcleo

$$^{7}_{4}Be + e^{-} \rightarrow {}^{7}_{3}Li + \nu$$

↘ excitado
decae con x-ray photon

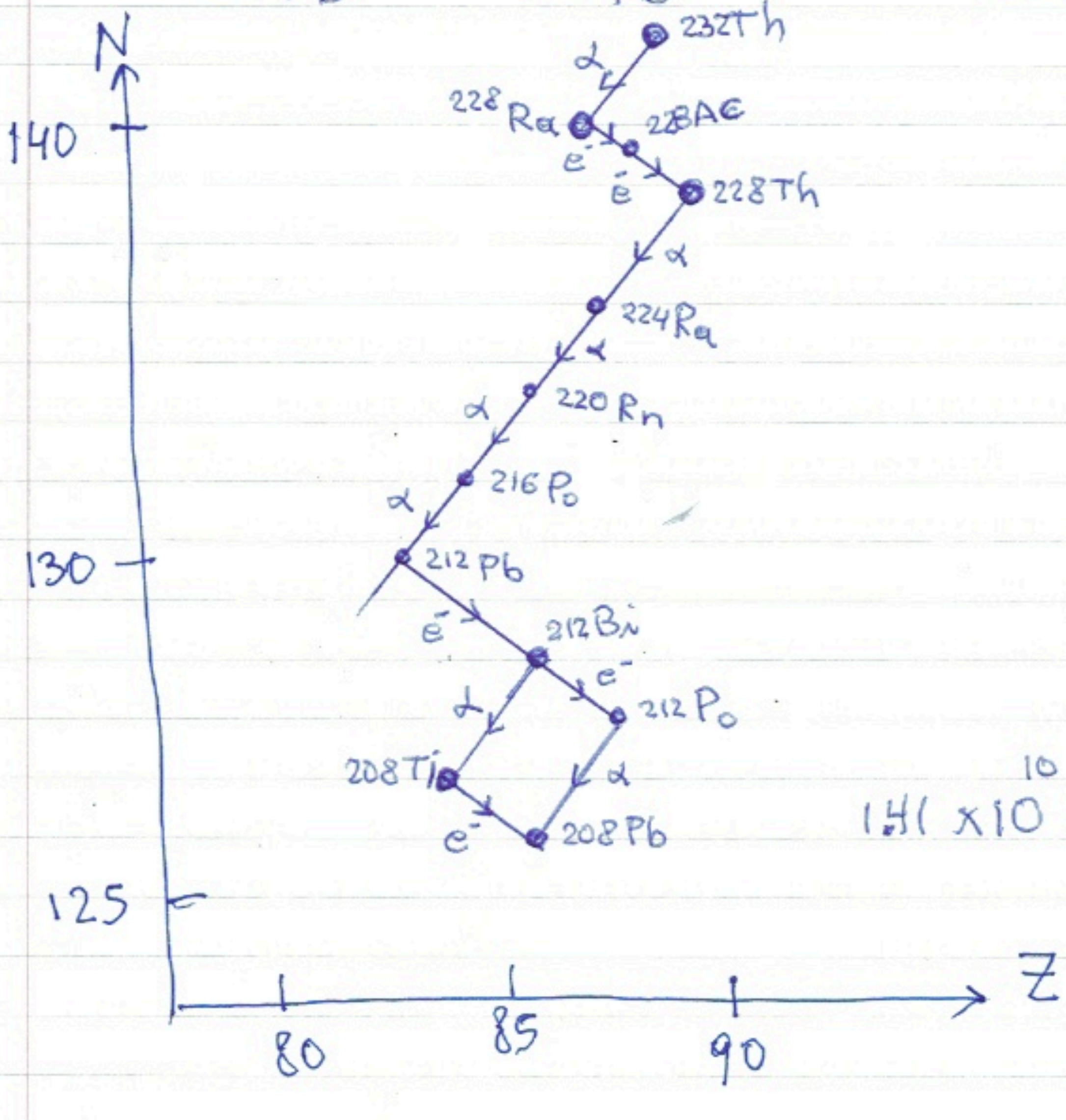
Radioctividad Natural

3 series.

(a) ^{238}U uranio → ^{206}Pb

(b) ^{235}U actinio → ^{207}Pb

(c) ^{232}Th torio → ^{208}Pb



1.41×10^{10} años

	Serie	Isótopo de PARTIDA	$T_{1/2}$ (y)	Producto final (estable)
natural	Uranio	$^{238}_{92}U$	4.47×10^{9}	$^{206}_{82}Pb$
	Actinio	$^{235}_{92}U$	7.04×10^{8}	$^{207}_{82}Pb$
	Torio	$^{232}_{90}Th$	1.41×10^{10}	$^{208}_{82}Pb$
artific.	Neptunio	$^{237}_{93}Np$	2.14×10^{6}	$^{209}_{83}Pb$

Sobre los Q-values

(1) $${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}X' + e^- + \bar{\nu}$$

$$Q = \left[m_N({}^{A}_{Z}X) - m_N({}^{A}_{Z+1}X') - m_e - m_{\bar{\nu}}\right]c^2$$

masa atómica, E. de enlace

pero $$m({}^{A}_{Z}X) = m_N({}^{A}_{Z}X) + Zm_e - \sum_{i=1}^{Z} B_i \qquad (0)$$

típico/ $m_\nu \sim 0$; $B_i \sim 0$

$$\Rightarrow m_N({}^{A}_{Z}X) \simeq m({}^{A}_{Z}X) - Zm$$

$$\Rightarrow Q = \left[m({}^{A}_{Z}X) - Zm - m({}^{A}_{Z+1}X') + (Z+1)m - m\right]c^2$$

$$\therefore Q = \left[m({}^{A}_{Z}X) - m({}^{A}_{Z+1}X')\right]c^2 \qquad (1)$$

(2) $${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}X' + e^+ + \nu$$

$$Q = \left[m_N({}^{A}_{Z}X) - m_N({}^{A}_{Z-1}X') - m_e - m_\nu\right]c^2$$

$$\overset{(0)}{\simeq} \left[m({}^{A}_{Z}X) - Zm_e - m({}^{A}_{Z-1}X') + (Z-1)m_e - m_e\right]c^2$$

$$= \left[m({}^{A}_{Z}X) - m({}^{A}_{Z-1}X') - 2m_e\right]c^2 \qquad (2)$$

//