

Universidad Nacional de Río Negro

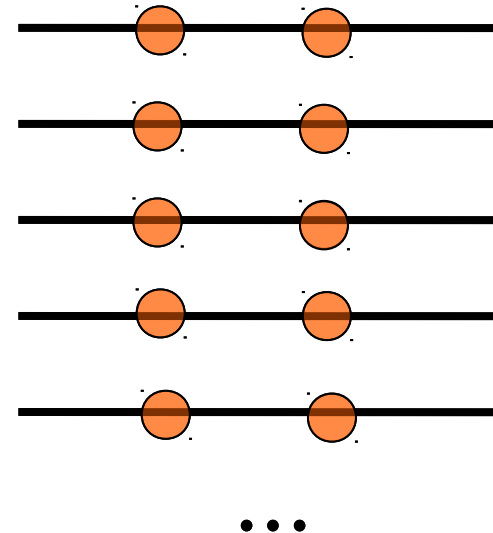
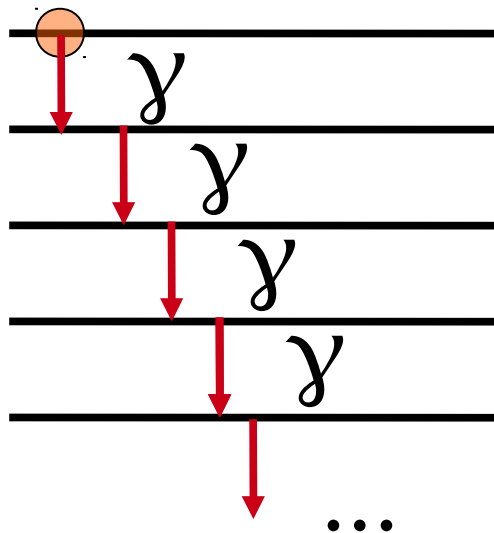
Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2018

- **Unidad** 01 – Relatividad
- **Clase** U01 C05
- **Fecha** 12 Sep 2018
- **Cont** Decaimientos - 2
- **Cátedra** Asorey
- **Web** <https://asoreyh.github.io/unrn-ipac/>
- **Youtube** <https://goo.gl/UZJzLk>



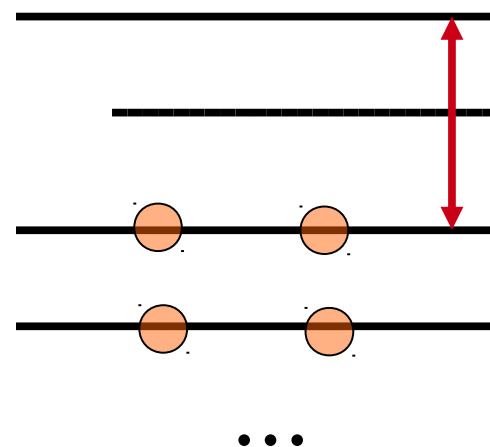
- Dirac (1928) obtiene la versión relativista de la ec. de Schrödinger y observa ese problema
- Propone que todos los estados de energía negativa están ocupados
- Los electrones obedecen el principio de exclusión de Pauli
- **Solución**
el “**vacío**” es el estado en el cual todos los estados de energía negativos están “**llenos**”

- No hay colapso porque no hay estados vacíos



$E < 0$

$$E = 2mc^2 = 1.022 \text{ MeV}$$



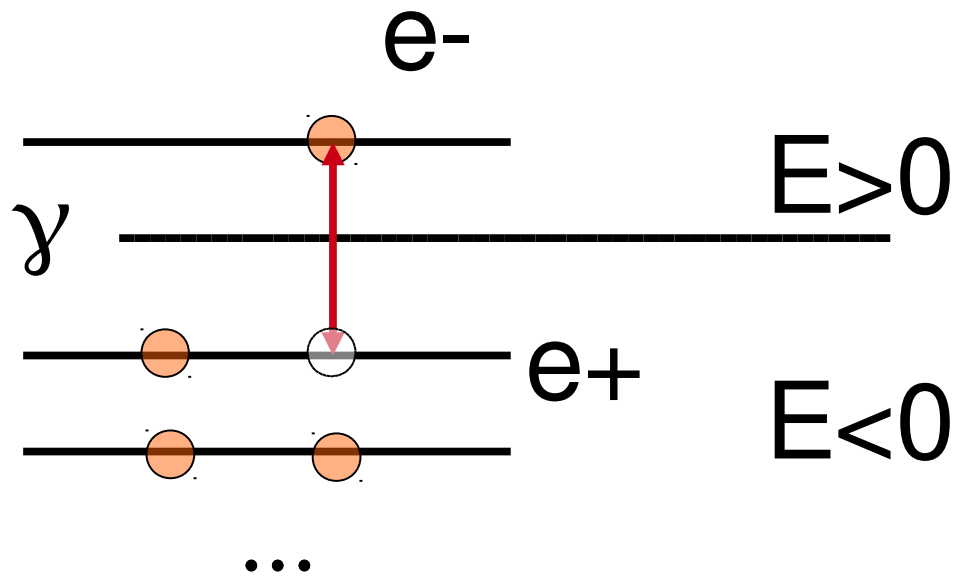
$E > 0$

$E < 0$

$$E = \pm mc^2$$

Materia-Antimateria

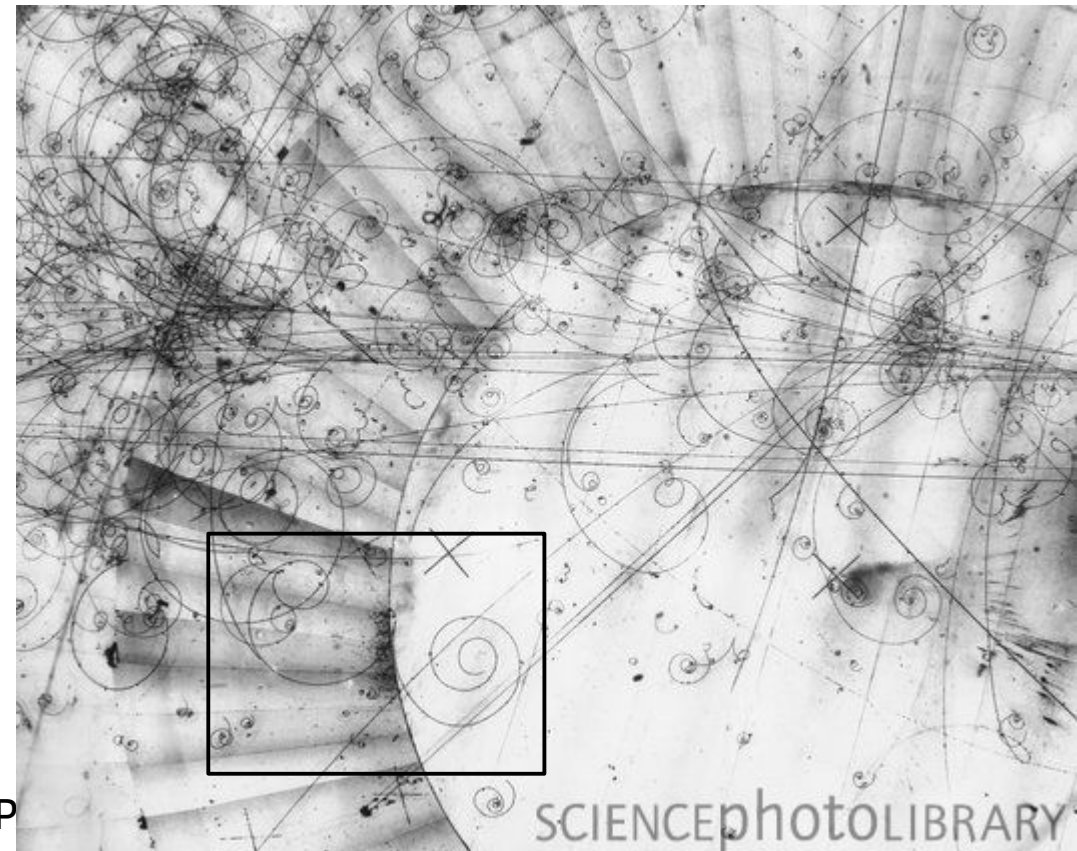
- En una interacción EM (scattering) es posible sacar un electrón del mar
- El “hueco” se ve como un electrón positivo



$$E_{\gamma} \geq 1.022 \text{ MeV}$$

Sep 12, 2017

H. Asorey - IP



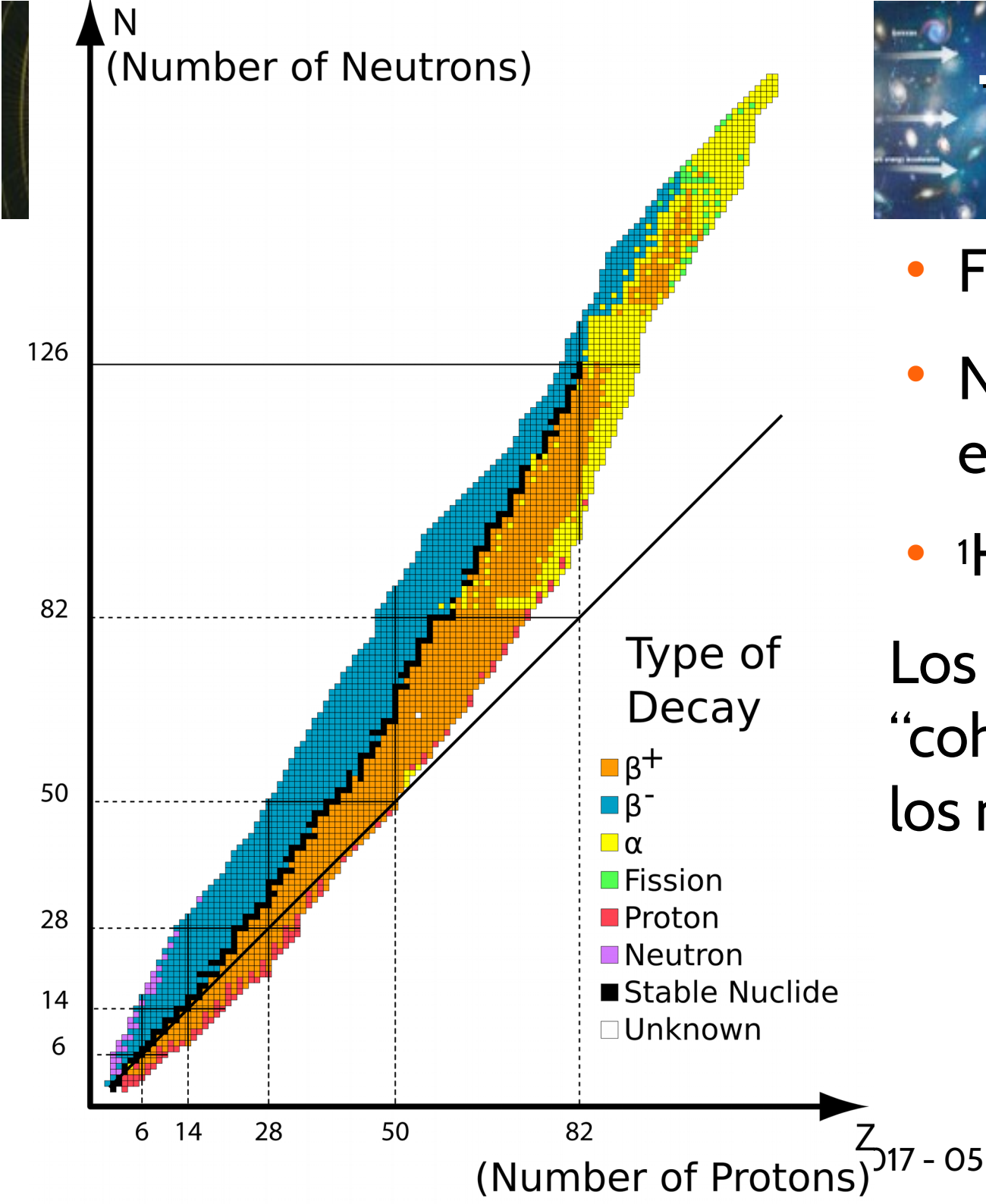


Tabla de nucléidos

- $F_E \sim Z^2$
- Neutrones sin carga eléctrica
- ${}^1\text{H}_1$ ${}^4\text{He}_2$ ${}^{208}\text{Pb}_{82}$

Los neutrones ayudan a la “cohesión” (estabilidad) de los núcleos

Fuerza Fuerte

Tipos de decaimiento

- **Emisión de partículas cargadas** (alfa, beta, protón, fisión, fragmentación): implican cambios en el número atómico
- **Emisión de neutrones**: cambios en el número másico
- **Emisión de fotones**: desexcitación nuclear
- En todo decaimiento **se libera energía, Q** , usualmente en forma de energía cinética de los productos del decaimiento. **El decaimiento ocurre si y sólo si $Q > 0$**
- En general, **Q es igual a la diferencia de masa entre reactivos y productos.**

$$Q = \left(m_{\text{reactivos}} - m_{\text{productos}} \right) c^2$$



Ley de decaimiento radiactivo

- **Suceso cuántico y estadístico: no podemos saber cuando un átomo particular decaerá.**
- Se observa que para un elemento la **tasa de decaimiento es constante, λ** . $[\lambda] = \text{s}^{-1}$
- Luego, en una muestra con N átomos radiactivos, la tasa de decaimiento dN/dt será proporcional a N :

$$\frac{-dN}{dt} = -\lambda N \rightarrow \frac{dN}{N} = -\lambda dt \rightarrow \int \frac{dN}{N} = \int -\lambda dt$$

$$\rightarrow \ln N = -\lambda t + C \rightarrow N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$



Ley de Decaimiento exponencial

- Ocurre con una **tasa de decaimiento constante λ**

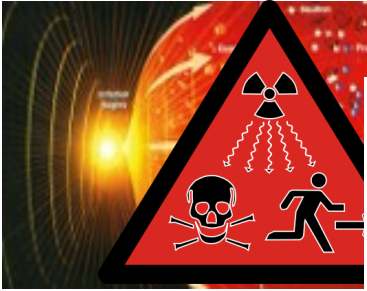
$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad [\lambda] = s^{-1}$$

- A partir de λ , definimos la **vida media τ**

$$\tau \equiv \frac{1}{\lambda} \Rightarrow N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad [\tau] = s$$

- Y además, el **período de semi-desintegración, como el tiempo que debe transcurrir para que la cantidad del elemento en una muestra se reduzca a la mitad**

$$T_{1/2} \text{ es tal que } N(T_{1/2}) = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\frac{T_{1/2}}{\tau}} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\frac{T_{1/2}}{\tau}}$$
$$\Rightarrow T_{1/2} = \ln(2) \tau$$



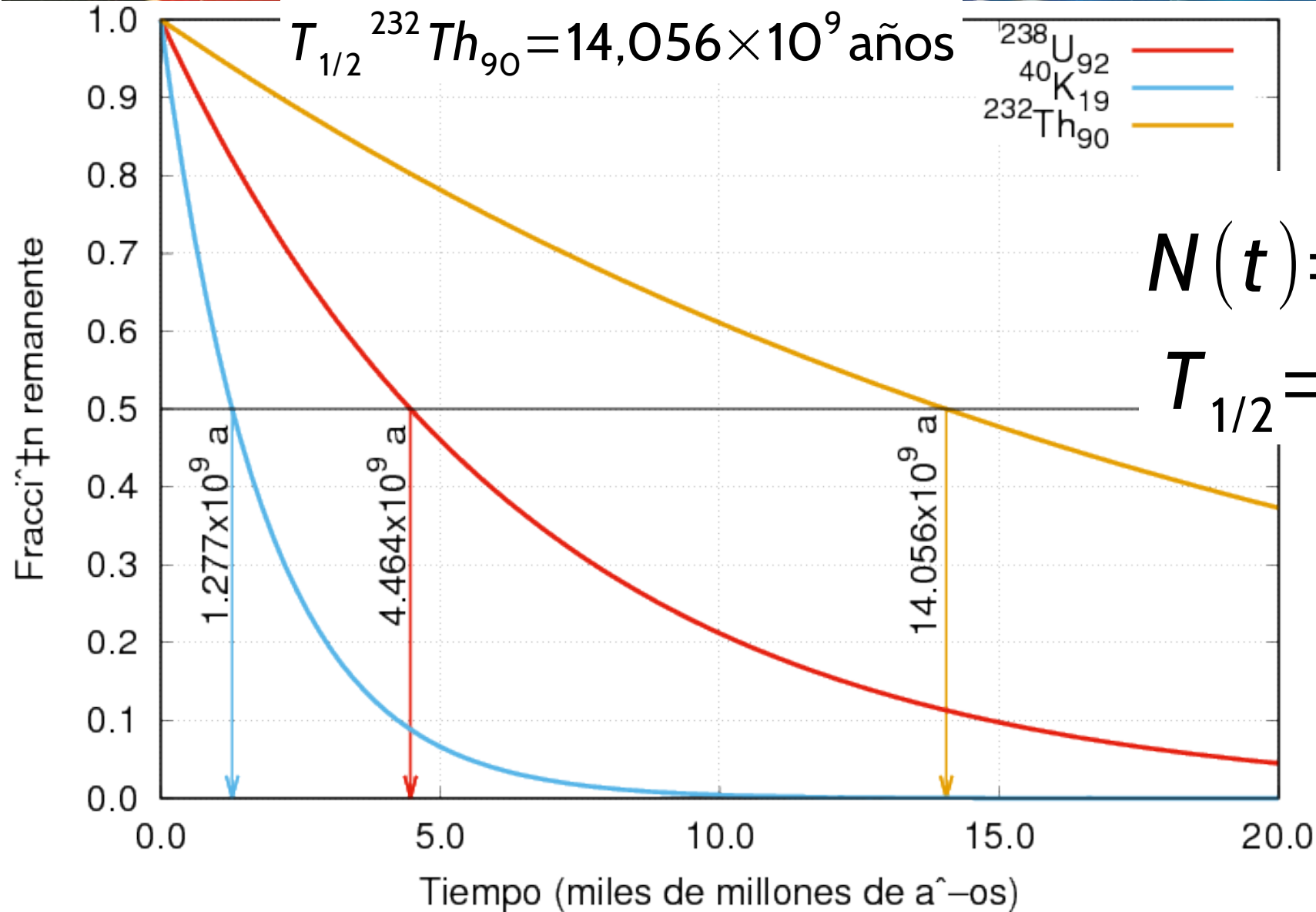
$$T_{1/2} {}^{40}\text{K}_{19} = 1,277 \times 10^9 \text{ años}$$

$$T_{1/2} {}^{238}\text{U}_{92} = 4,464 \times 10^9 \text{ años}$$

$$T_{1/2} {}^{232}\text{Th}_{90} = 14,056 \times 10^9 \text{ años}$$



$T_{1/2}$



$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$T_{1/2} = \ln(2) \tau$$

En un mol de $^{232}\text{Th}_{90}$, ¿Cuántos decaimientos se producen en un segundo?

+ Sea un mol de $^{232}_{142}\text{Th}_{90}$ ($\Rightarrow N_0 = 6.02 \times 10^{23}$ átomos de Thoro)

+ La masa del mol es 232 g.

$$+ T_{1/2} = 14,056 \times 10^9 \text{ a} = 4,43 \times 10^{17} \text{ s}$$

$$+ T_{1/2} = \ln(2) \tau \Rightarrow \tau = T_{1/2} / \ln(2) \Rightarrow \tau = 6,39 \times 10^{17} \text{ s}$$

$$\text{Con lo cual } \lambda = \frac{1}{\tau} = 1,56 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

+ Luego cada segundo esperamos medir $\Delta N = N_0 \cdot \lambda$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -N_0 \cdot 1,56 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1} \quad \text{para el primer segundo}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta N}{\Delta t} = -6,02 \times 10^{23} \cdot 1,56 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

Aproximación válida si
 $\Delta t \ll \tau$

$$\Rightarrow \frac{\Delta N}{\Delta t} \approx -10^6 \text{ at/s} \quad \text{para el primer segundo.}$$

$$\text{para tiempos largos } \Rightarrow N(t) = N_0 e^{-t/\tau} \Rightarrow \Delta N = N(t) - N_0$$

$$\Rightarrow \Delta N = N_0 (e^{-t/\tau} - 1) \Rightarrow \Delta N \approx -10^6 \text{ at para } t = 1 \text{ s.}$$

- Cuando tengo 1 núcleo, hablo de probabilidades
- Pero tengo muchos → Ley de los grandes números → valores medios.
- **La actividad de una muestra está dada por el número de decaimientos por unidad de tiempo:**

$$A(t) = \lambda N(t)$$

$$[A(t)] = \text{decaimientos } s^{-1} = \text{Bq (bequerel)}$$

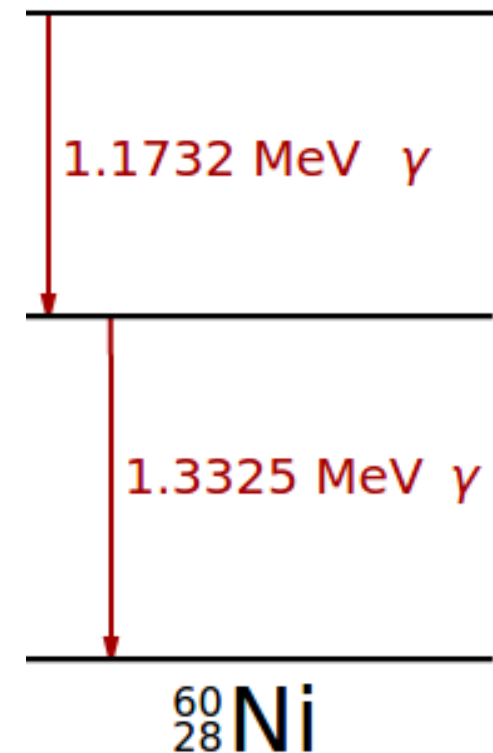
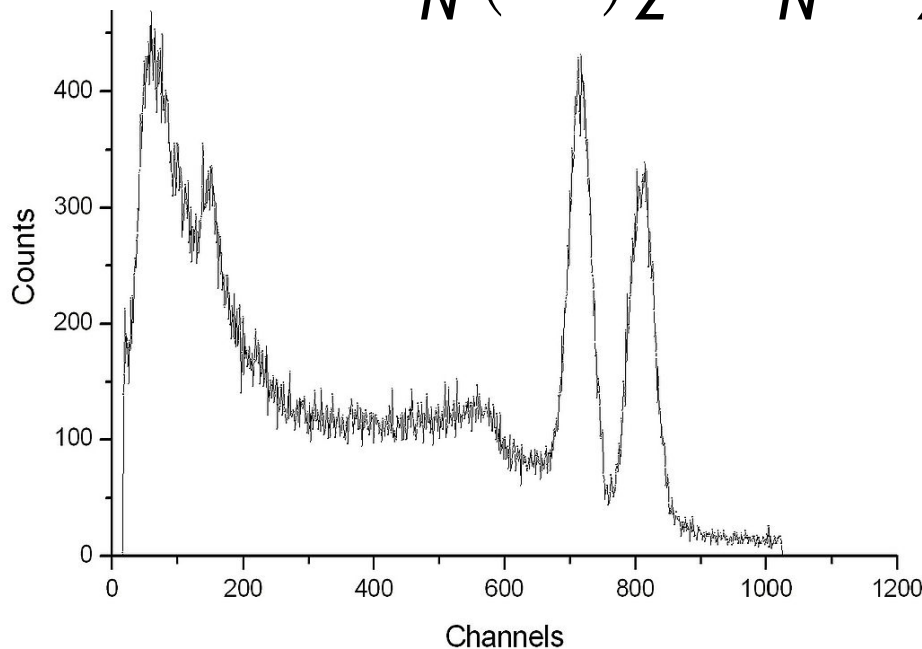
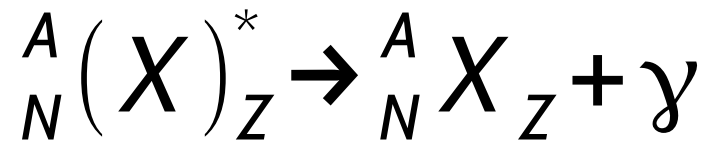
$$1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$$

$$1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$$

- Se puede pensar en que masa se necesita para 1 Bq

Emisión Gamma

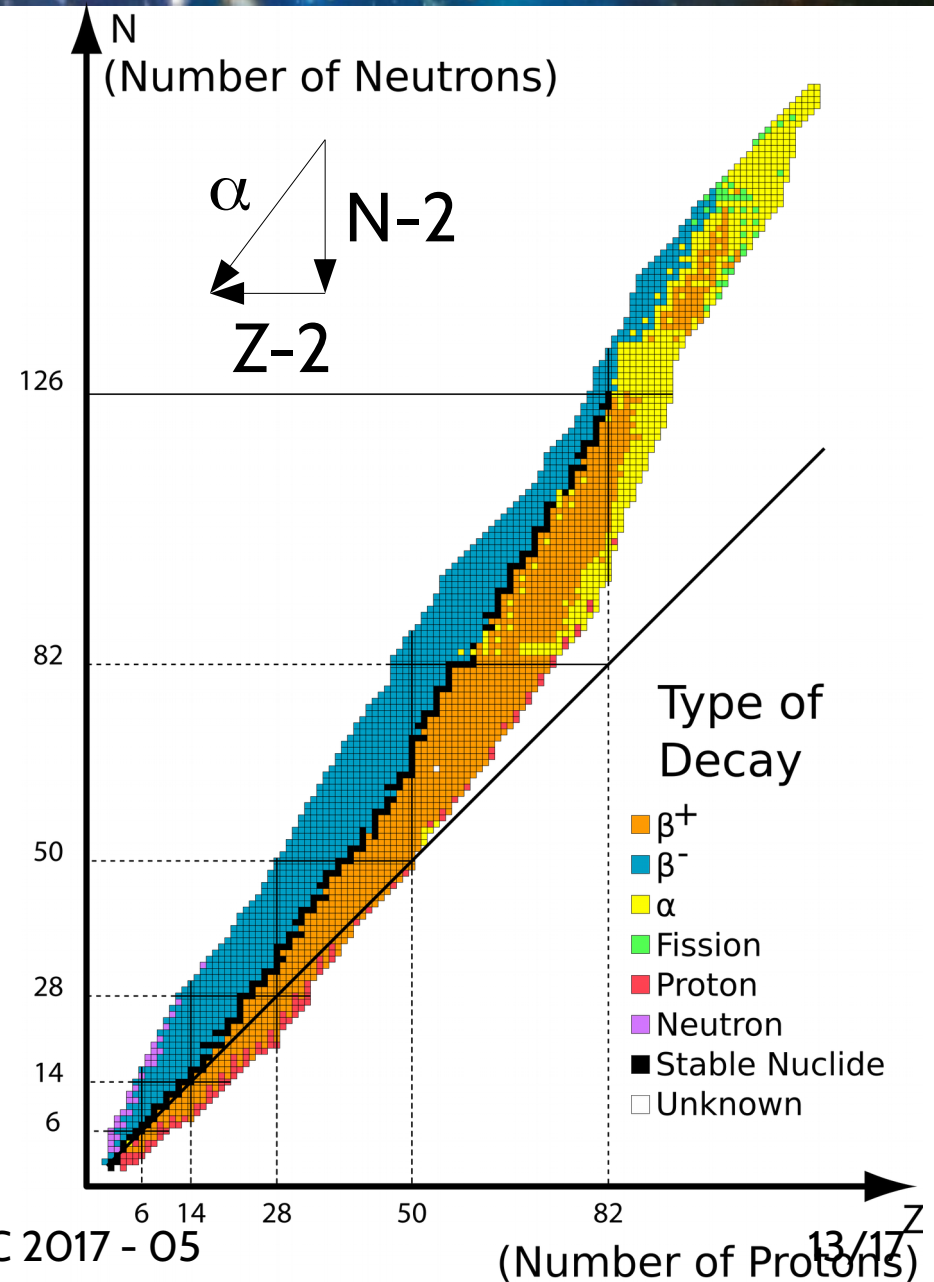
- El núcleo tiene niveles de energía
- El núcleo en un estado excitado se desexcita a través de la emisión de un fotón (gamma) con energía igual a la diferencia de energía entre los estados inicial y final





Decaimiento alfa

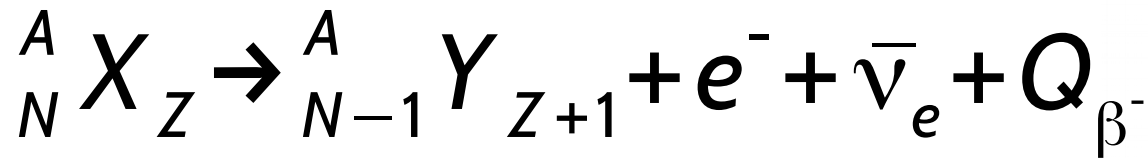
- Corresponde a la emisión espontánea de un núcleo de Helio ${}^4\text{He}_2$ (partícula alfa, 2 neutrones, 2 protones)
- El núcleo pierde dos protones \rightarrow ¡otro elemento!



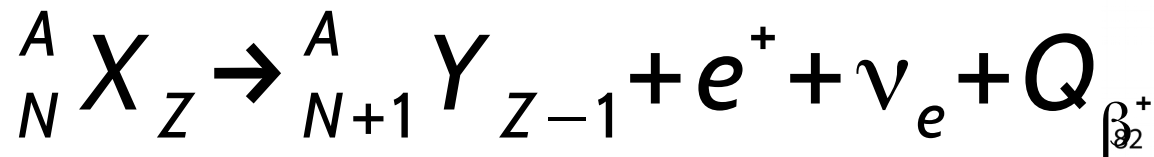


Decaimiento beta

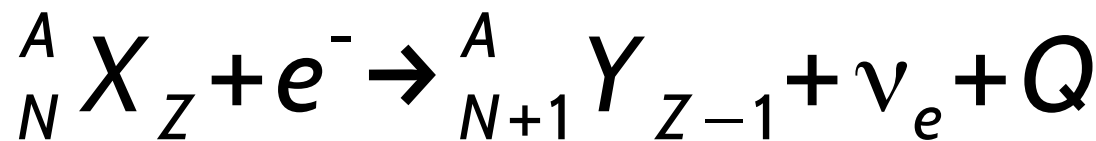
- β^- : emisión de un **electrón**



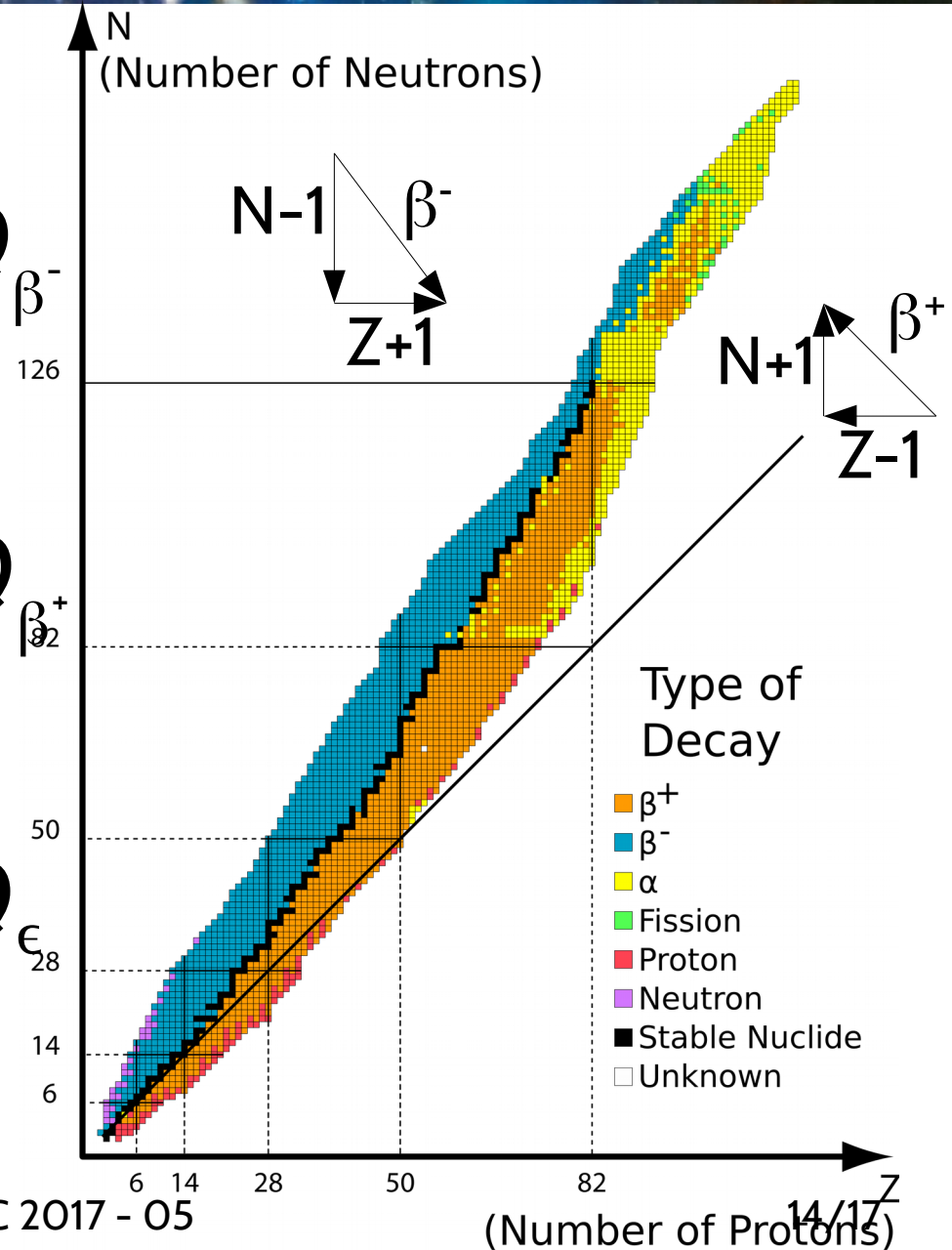
- β^+ : emisión de un **positrón**



- ϵ : **captura electrónica**

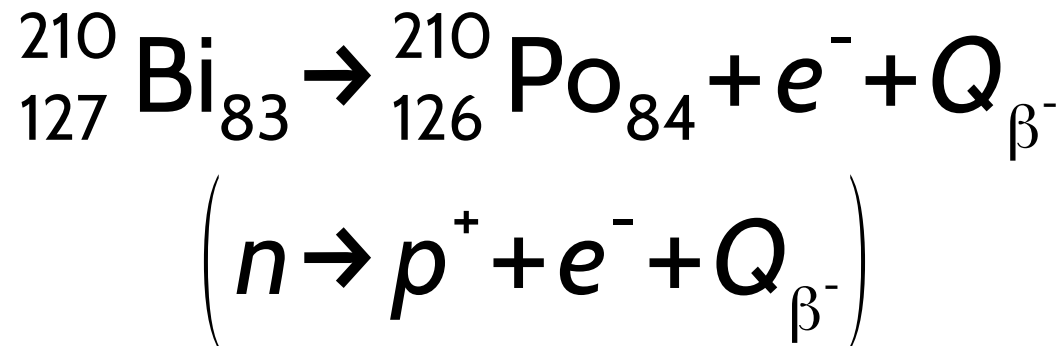


- ¿Que es ν_e ?

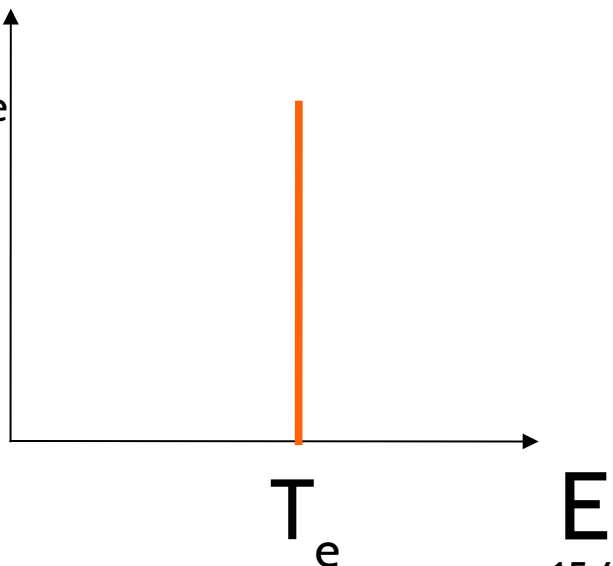


Decaimiento Beta: Energías

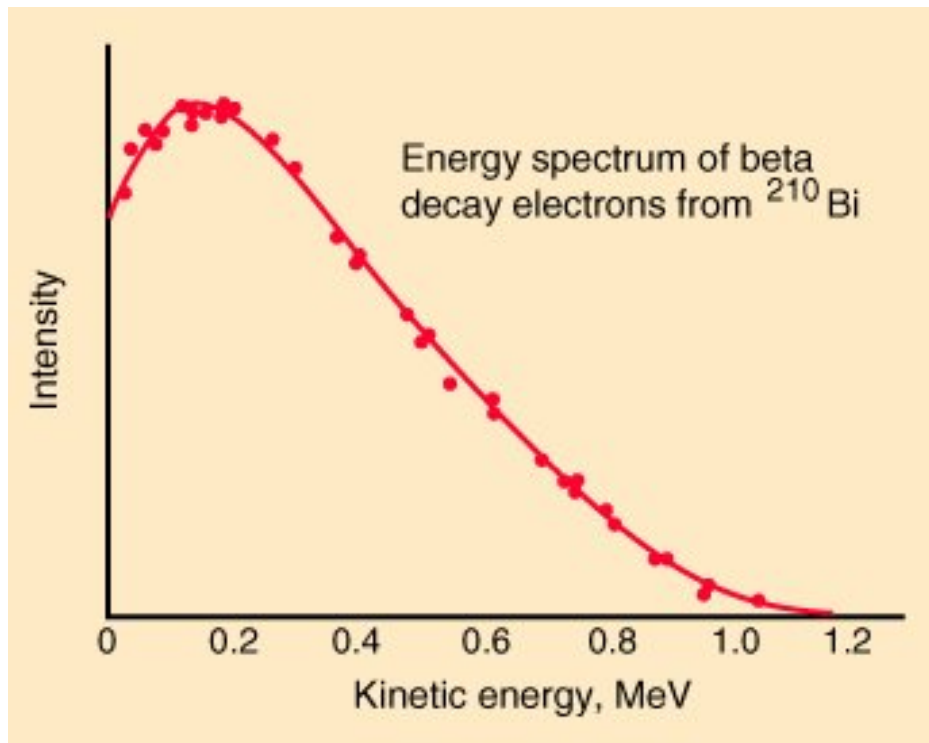
- Propuesta para el decaimiento beta del Bismuto-210



- Luego, la energía liberada debería ser

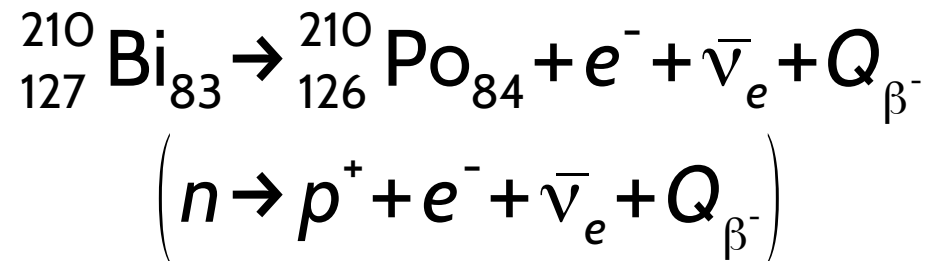
$$m_{\text{Bi}} c^2 = (m_{\text{Po}} + m_e) c^2 + Q$$
$$Q = (m_{\text{Bi}} - m_{\text{Po}} - m_e) c^2 \approx T_e$$
$$T_e \simeq 1.16 \text{ MeV}$$


La medición



- Bohr: “La energía no se conserva”
- Pauli: La energía se conserva si existe otra partícula: “**neutrino**”

- Decaimiento beta correcto:



$$Q = \left(m_{\text{Bi}} - m_{\text{Po}} - m_e - m_{\bar{\nu}_e} \right) c^2$$

$$Q \approx T_e + T_{\nu}$$

El electrón emitido, ¿es relativista?

+ velocidad del electrón emitido en el decaimiento β del ^{210}Po

$m_e = 0,511 \text{ MeV}/c^2$ y la energía disponible $Q = 1,16 \text{ MeV}$

Supongamos que $T_e = Q \Rightarrow T_e = 1,16 \text{ MeV}$. Luego.

$$E = mc^2 + T_e \Rightarrow E = 0,511 \frac{\text{MeV}}{c^2} \cdot c^2 + 1,16 \text{ MeV}$$

$$\Rightarrow E = 1,671 \text{ MeV}$$

$$\text{Pero } E = m\gamma c^2 \Rightarrow \gamma = E/mc^2 \Rightarrow \gamma = \frac{1,671 \text{ MeV}}{0,511 \frac{\text{MeV}}{c^2} c^2} \Rightarrow \gamma = 3,27$$

$$\boxed{\gamma = 3,27}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \Rightarrow \gamma^2 = \frac{1}{1-\beta^2} \Rightarrow \beta^2 = 1 - 1/\gamma^2 \Rightarrow \beta = \sqrt{1 - 1/\gamma^2}$$

$$\Rightarrow \beta = 0,952 \Rightarrow v_e = \beta c \Rightarrow \boxed{v_e = 0,952 c}$$