

# Universidad Nacional de Río Negro

## Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2019

- **Unidad**      01 – Relatividad
- **Clase**        U01 C05
- **Fecha**        18 Sep 2019
- **Cont**          Decamientos y Partículas
- **Cátedra**      Asorey
- **Web**          <https://gitlab.com/asoreyh/unrn-ipac/>



# Comentario sobre unidades

- Es conveniente trabajar en otro sistema de unidades
- 1 eV es la energía ganada por un electrón en una diferencia de potencial de 1 V

$$E = qV \rightarrow E = (1.602 \times 10^{-19} \text{ C})(1 \text{ V}) \rightarrow E = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

**electronvolt**

$$\Rightarrow 1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

**meV**

**eV**

**keV**

**MeV**

**GeV**

**TeV**

**PeV**

**EeV**

**Microndas**

**R X**

**Partículas**

**R.C. Gal**

**Visible**

**Gamma**

**C. Galáctico**

**R.C.E.G.**



# Nuevas unidades

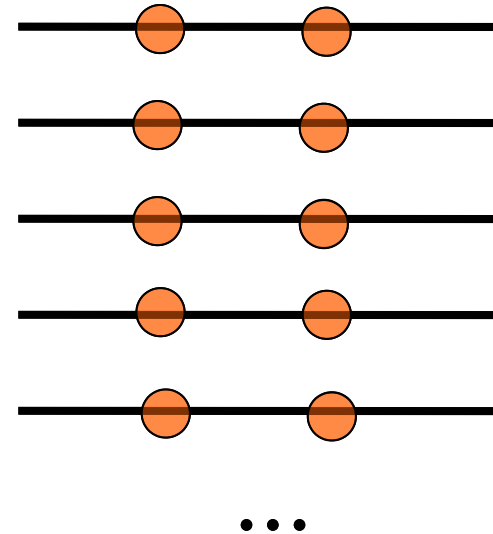
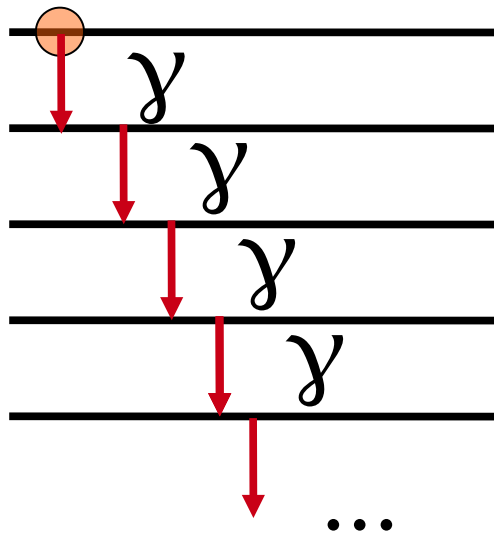
Magnitud	Ecuación	Unidad
Energía	$E$	eV
Cant. de movimiento	$p = E/c$	eV/c
Masa	$m = E / c^2$	eV/c <sup>2</sup>

- A veces, se usan las unidades naturales:

$$h = c = 1$$

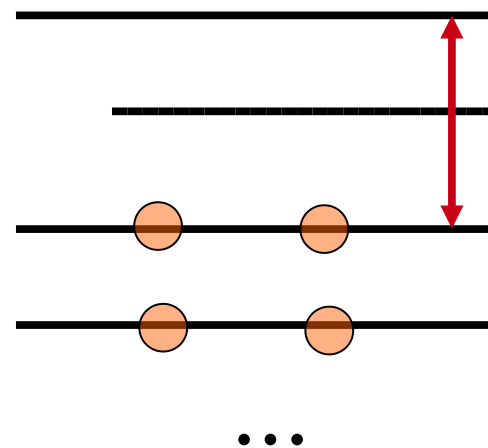
- Entonces, todo se mide en eV

- No hay colapso porque no hay estados vacíos



$E < 0$

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



$E > 0$

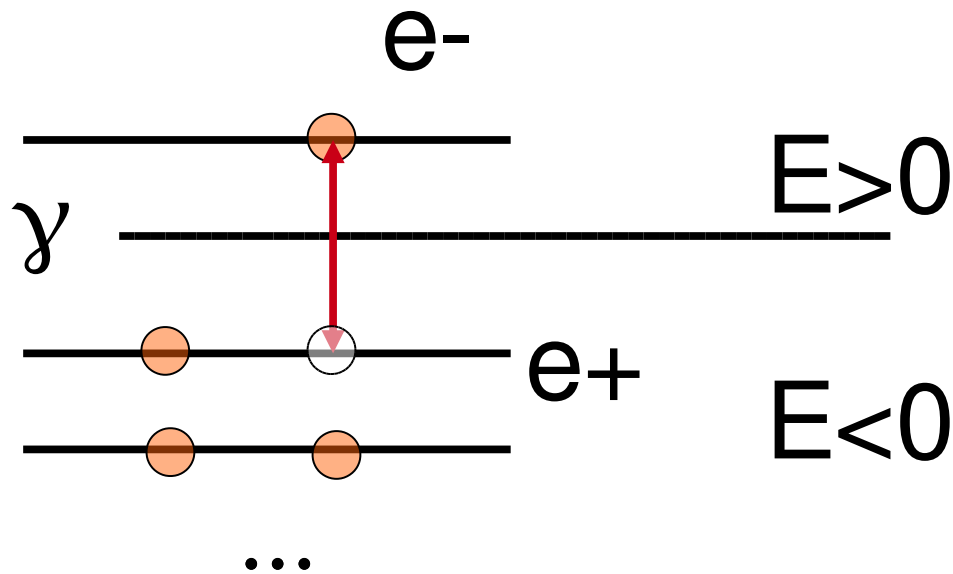
$E < 0$

$$E = \pm mc^2$$

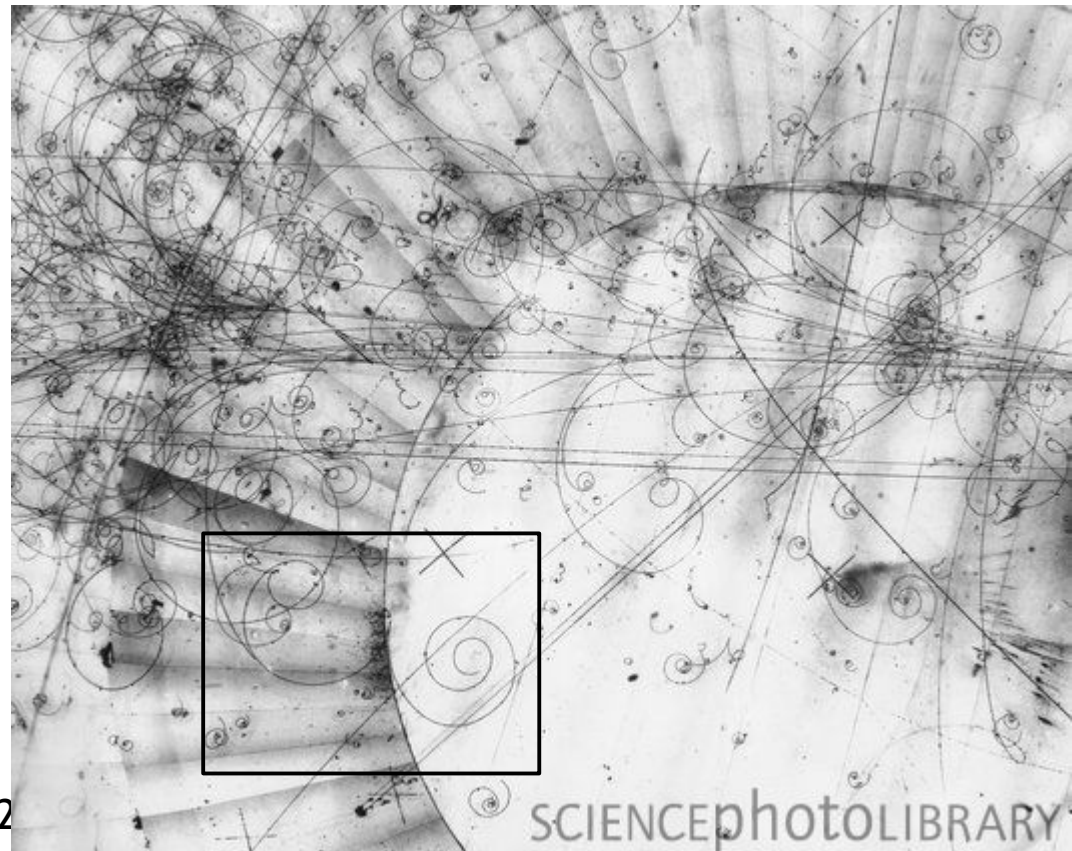


# Materia-Antimateria

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



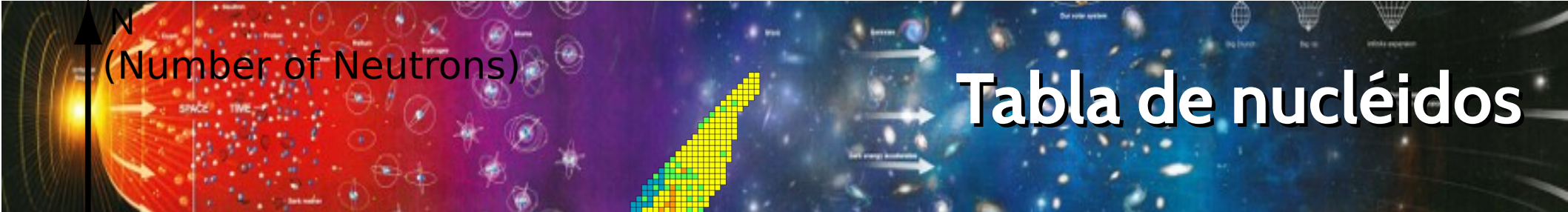
$$E_{\gamma} \geq 1.022 \text{ MeV}$$



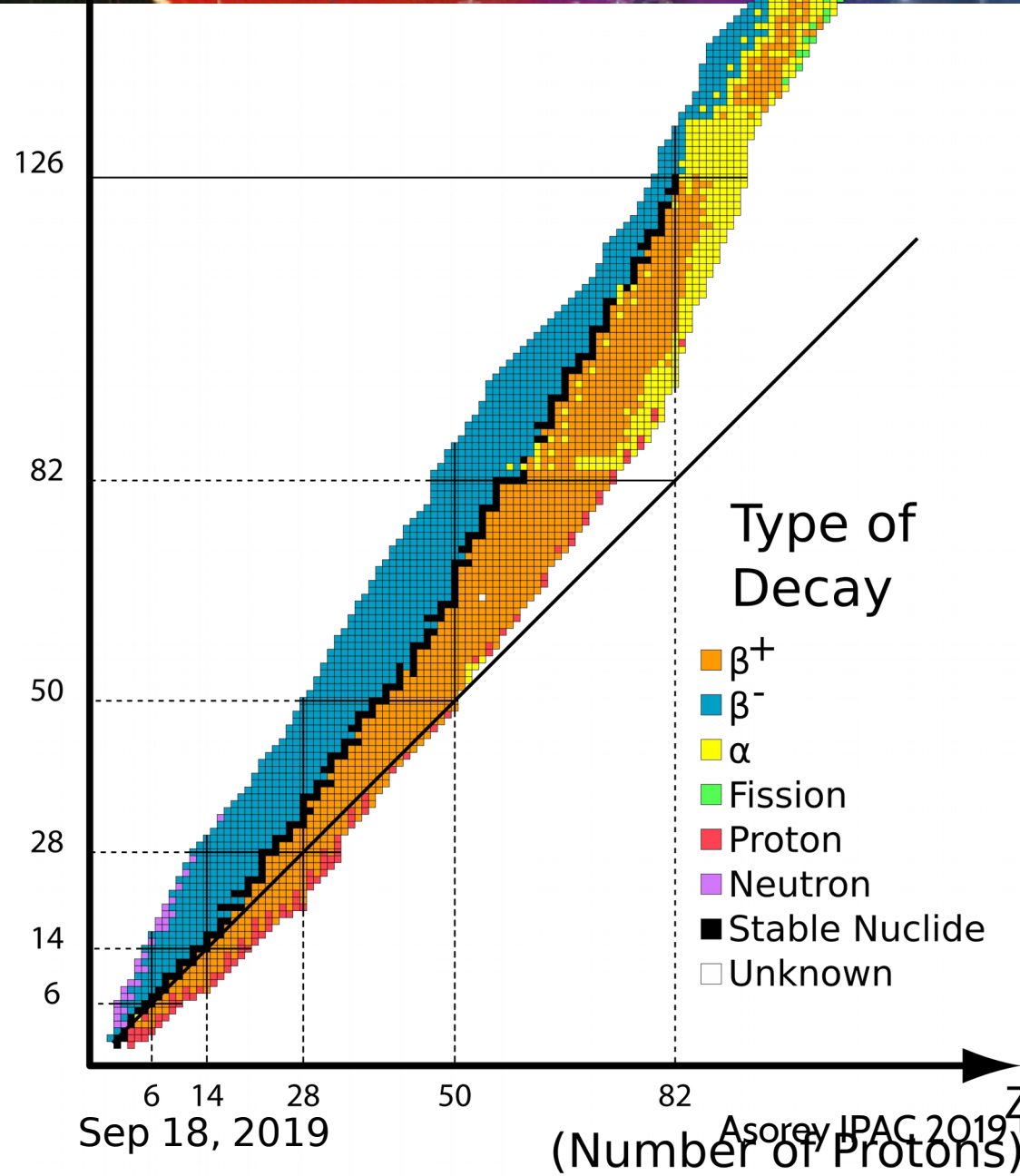


# En esa época

- Se conocían cuatro partículas:
  - Protón (+)
  - Electrón (-)
  - Fotón (0) ← interacciones cargadas
  - Neutrón (0)



# Tabla de nucléidos



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

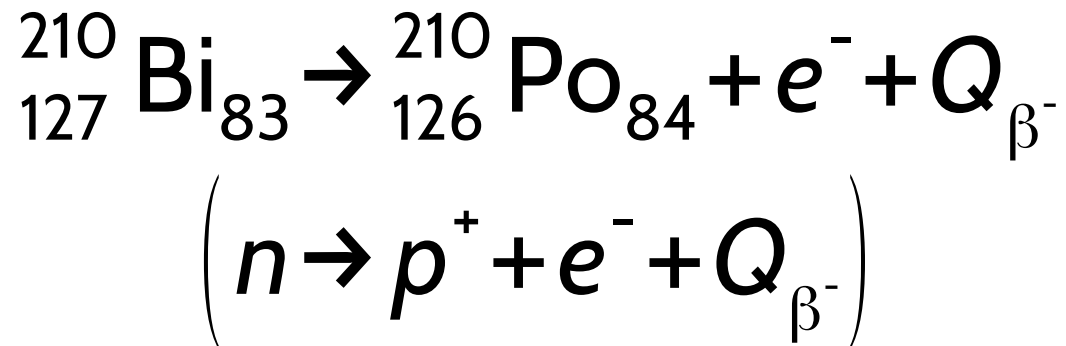
Los neutrones ayudan a la “cohesión” (estabilidad) de los núcleos

**Fuerza Fuerte**

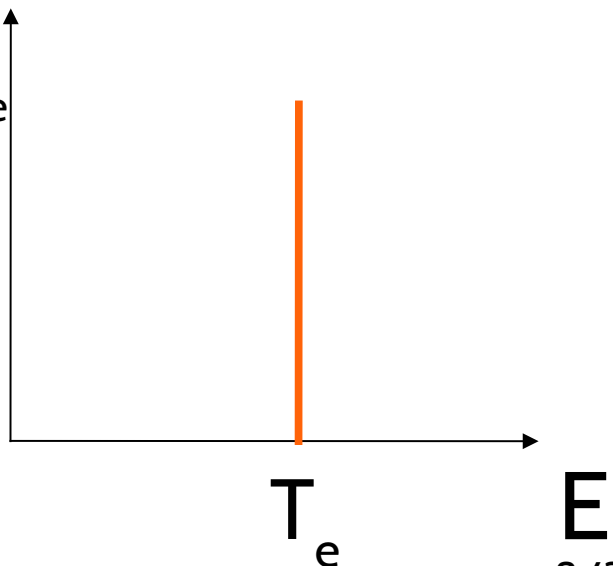


# Un proceso que se observó hace casi 100 años

- Propuesta para el decaimiento beta del Bismuto-210

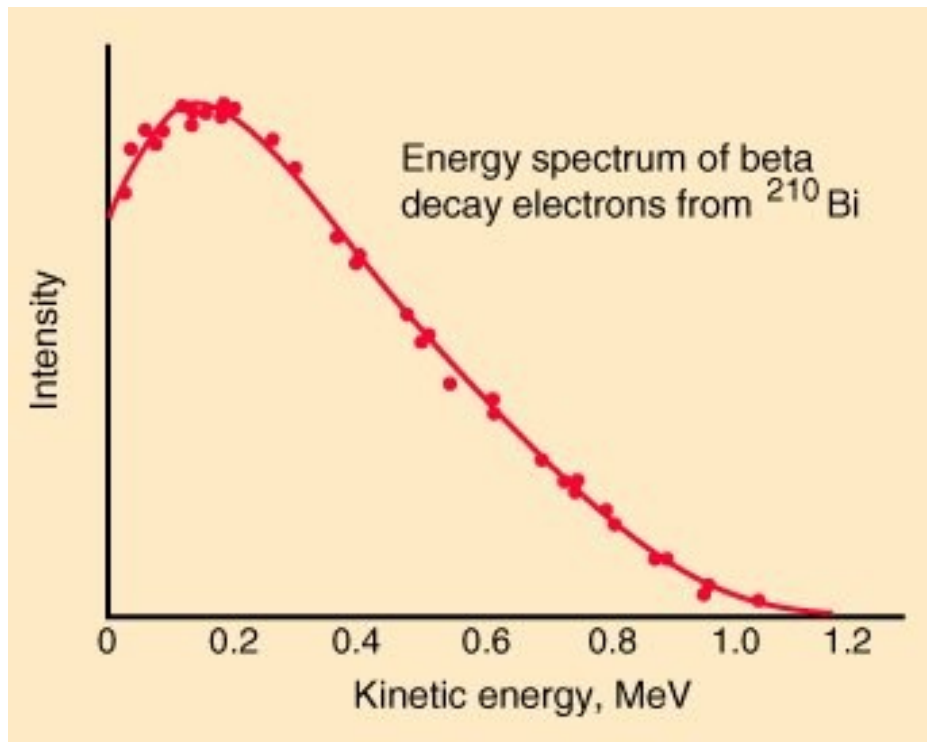


- Luego, la energía liberada debería ser

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


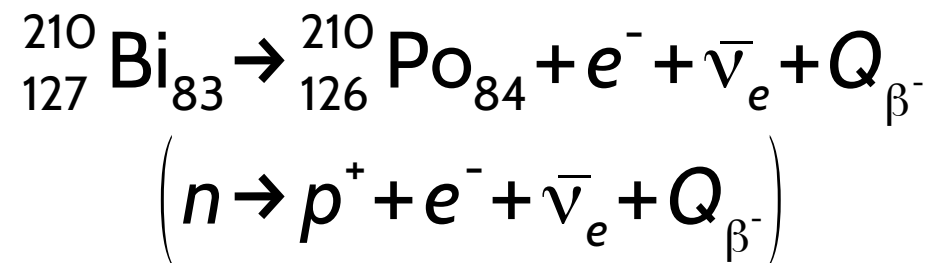


# La medición



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

- Decaimiento beta correcto:



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

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

# Ley de decaimiento

- **Suceso cuántico y estadístico:** no podemos saber cuando un átomo particular decaerá.
- Se observa que para un elemento la **tasa de decaimiento es constante,  $\lambda$ .**

$$[\lambda] = \mathbf{S}^{-1}$$

# Ley de decaimiento radiactivo

+ Sea una muestra con  $N_0$  núcleos inestables.

+ El núcleo tiene una tasa de decaimiento  $\lambda$ ,  $[\lambda] = s^{-1}$

$$\Rightarrow N_0 \xrightarrow{t} N(t) \quad N(t) < N_0 \quad \text{y} \quad N(t) = N_0 + dN \Rightarrow dN < 0$$

Luego, en un tiempo  $dt$ :

$$\boxed{\frac{dN}{dt} = -\lambda N} \quad \left( \frac{dN}{dt} < 0 \right)$$

Aplicamos el procedimiento usual para esta ecuación diferencial:

$$\Rightarrow \frac{dN}{N} = -\lambda dt \Rightarrow \int \frac{dN}{N} = -\lambda \int dt \Rightarrow \ln N = -\lambda t + C$$

Sea  $C$  la constante de integración. Luego:

$$e^{\ln N} = e^{-\lambda t + C} \Rightarrow N(t) = e^{-\lambda t} e^C \quad \text{y para } t=0, N(t) = N_0 \Rightarrow$$

$$N_0 = e^{-\lambda \cdot 0} e^C \Rightarrow e^C = N_0. \quad \text{Finalmente:}$$

$$\boxed{N(t) = N_0 e^{-\lambda t}}$$

Ley de Decaimiento  
Radiactivo.





# 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,  $\lambda$ .**  $[\lambda] = \text{s}^{-1}$
- 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  $\lambda$**

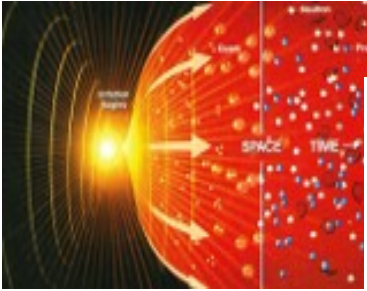
$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad [\lambda] = s^{-1}$$

- A partir de  $\lambda$ , definimos la **vida media  $\tau$**

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

- 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**

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

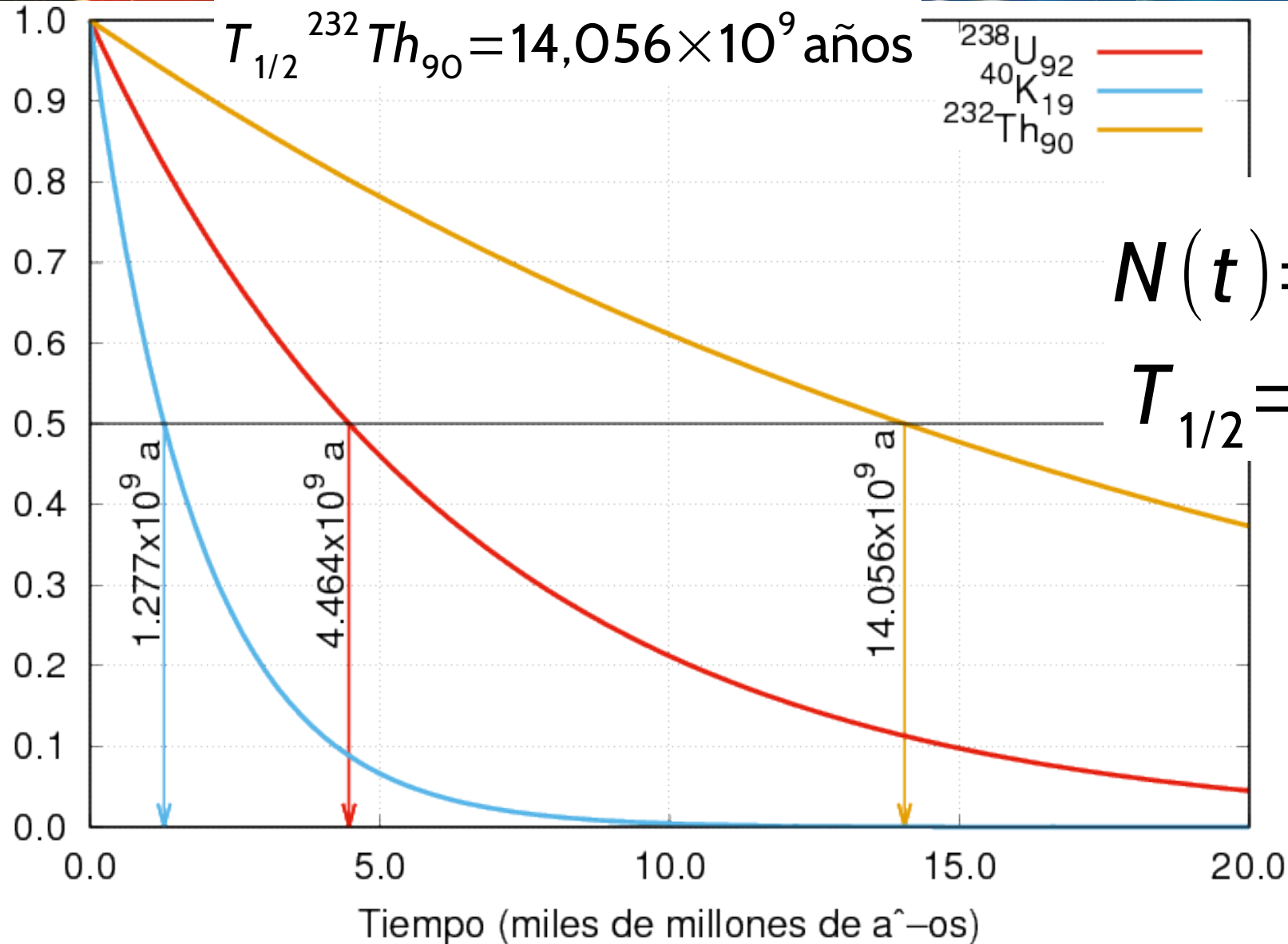


$$T_{1/2}^{40}\text{K}_{19} = 1,277 \times 10^9 \text{ años}$$

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

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

Fracción remanente



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

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

- 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:**

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

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

$$1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi} \quad 1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$$

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

# Radiactividad







# Radiactividad

- **Fenómeno físico** por el cual algunos elementos **inestables decaen** en otros más estables **emitiendo radiación ionizante** (Energías típicas: keV – MeV).
- **Tipos:**
  - **Alfa:** **emisión de un núcleo de Helio** (2 protones, 2 neutrones). Poca capacidad de penetración (las detiene un papel)
  - **Beta:** **emisión de un electrón o un positrón** (media capacidad de penetración: láminas metálicas delgadas)
  - **Gamma:** **emisión de un fotón de alta energía** (alta capacidad de penetración, hasta plomo)
  - Otros: neutrones, protones, fisión espontánea, fragmentación

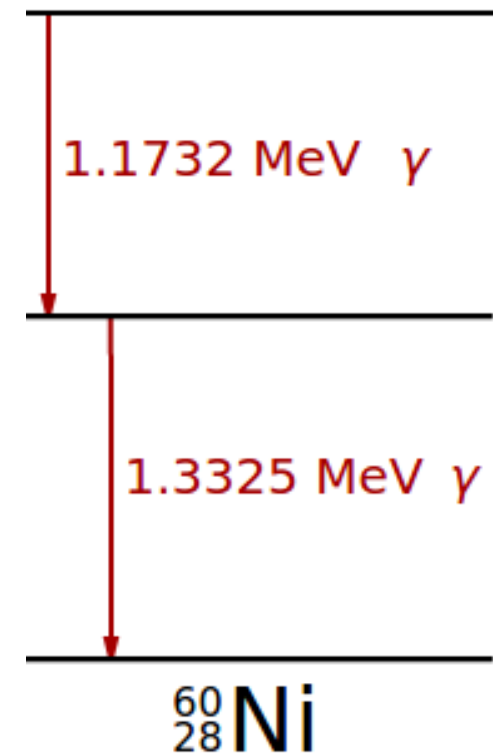
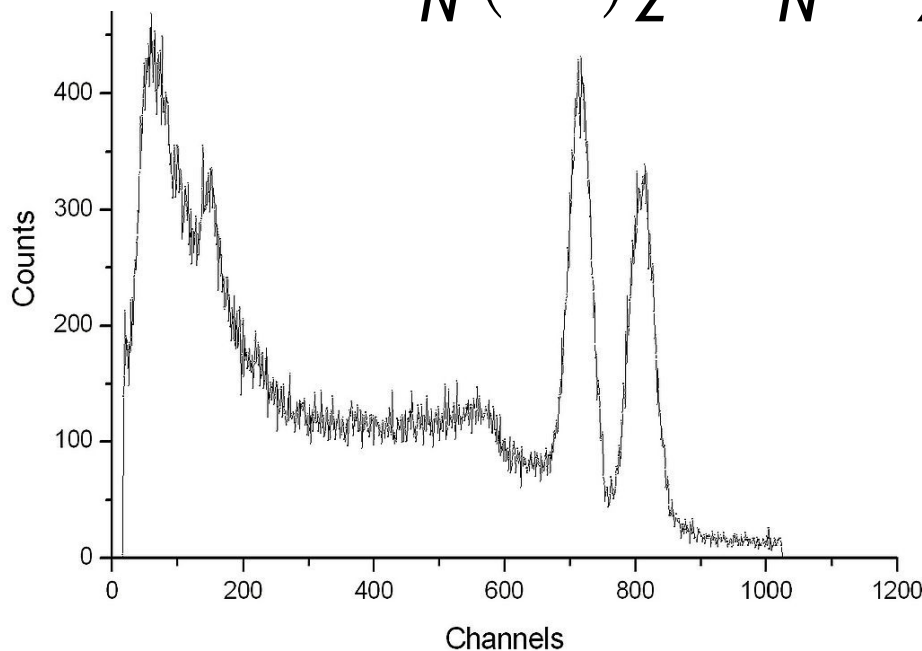
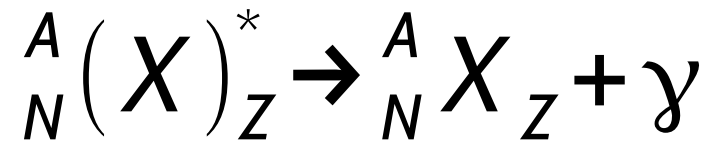
# Tipos de decaimiento

- **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.**

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

# 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

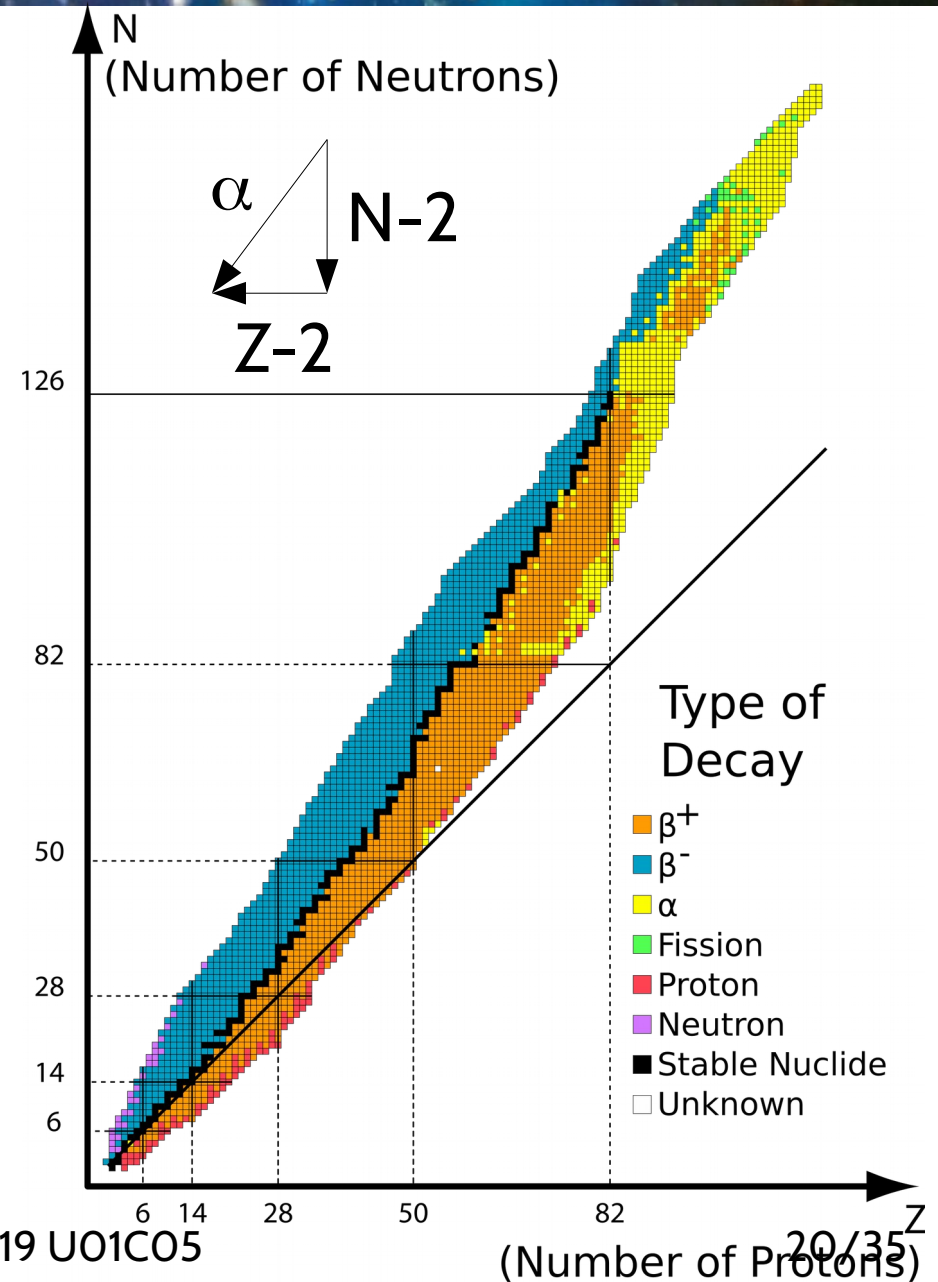






# Decaimiento alfa

- 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!

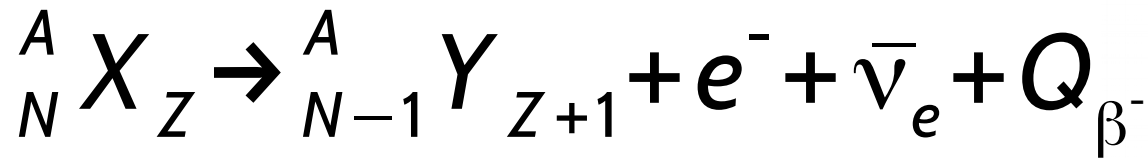




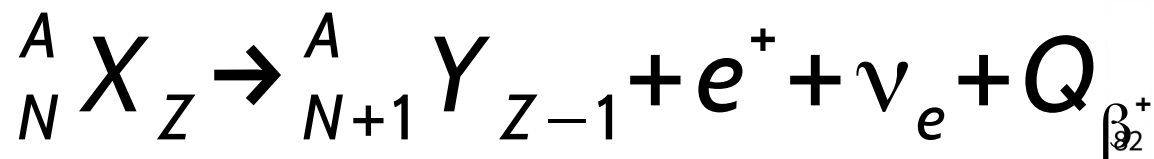


# Decaimiento beta

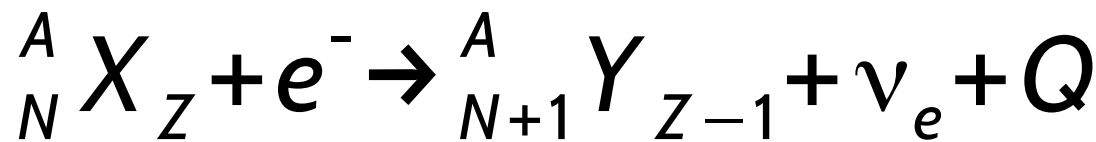
- $\beta^-$ : emisión de un **electrón**



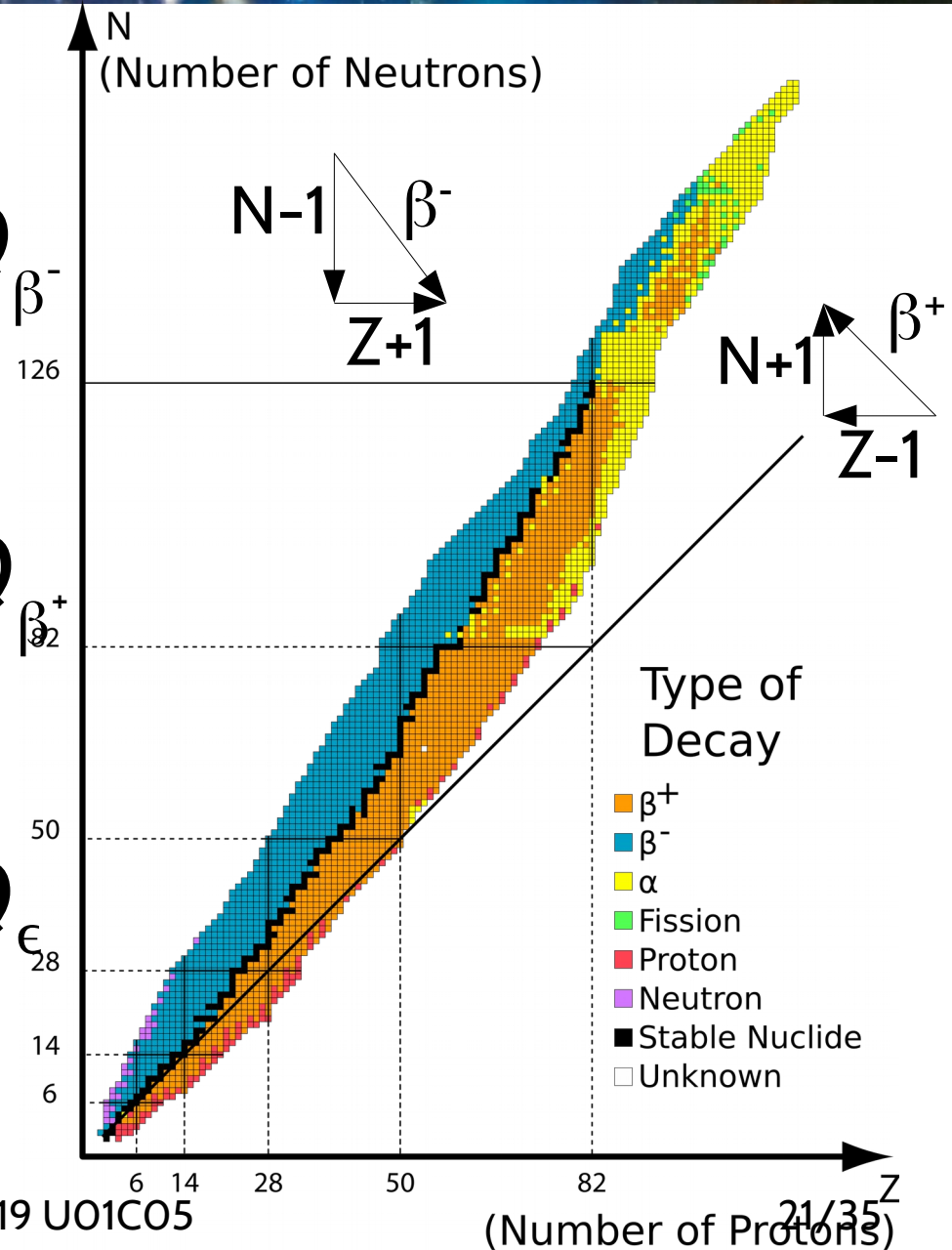
- $\beta^+$ : emisión de un **positrón**



- $\epsilon$ : **captura electrónica**



- ¿Que es  $\nu_e$ ?





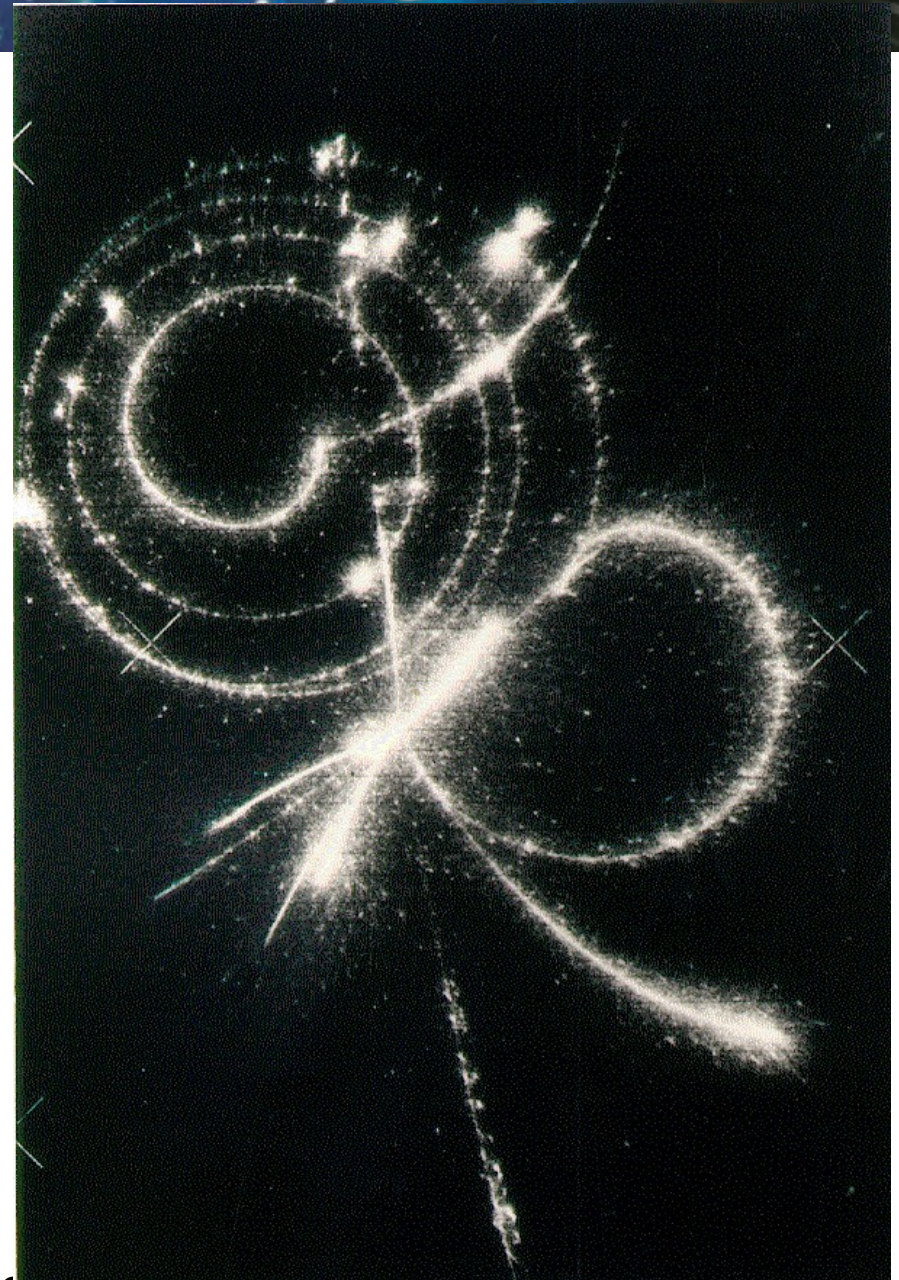
# Mientras tanto, en la atmósfera...

- ... caen rayos cósmicos
- Anderson descubre una partícula  $m/q \sim 200 m_e/e$   
 $\rightarrow m \sim 100 \text{ MeV}$
- Luego, se observa

$$\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm}$$

que también violaba la E

$$\Rightarrow \pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu}$$





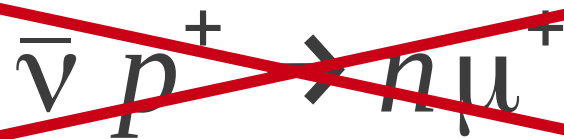
# Probemos esto

- Sección eficaz neutrinos

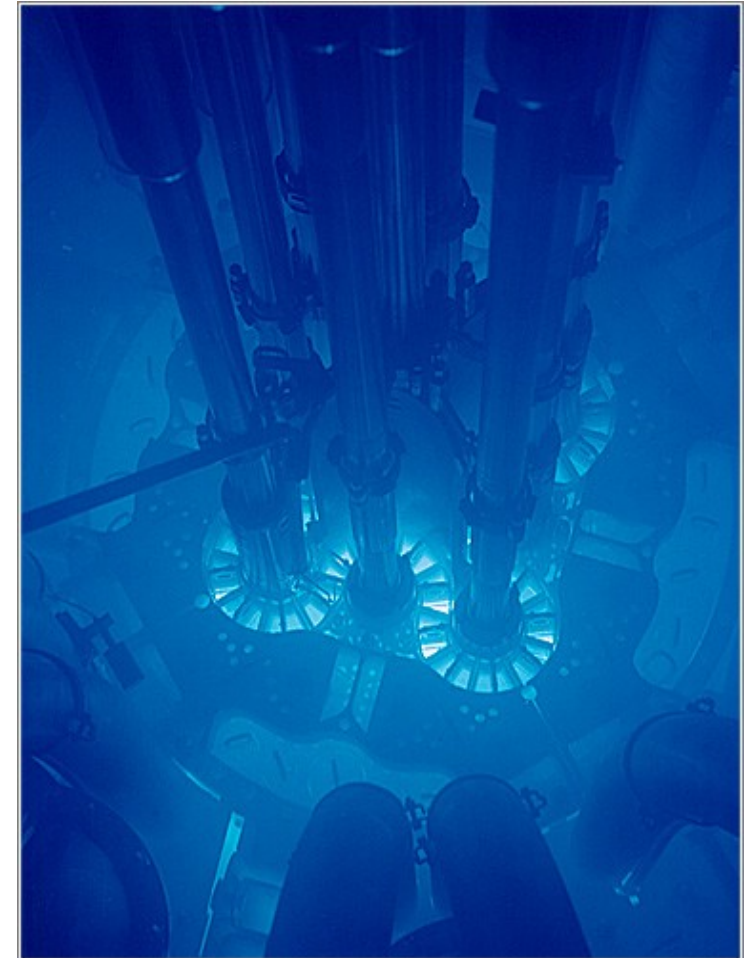
$$\sigma_{\nu} \simeq 10^{-44} \text{ cm}^2$$

~250 años luz de agua (~2 x 10<sup>20</sup> cm)

- Usemos 10<sup>20</sup> neutrinos en 1 cm de agua



- Tiempos “largos”: Corto alcance. Interacción Débil





# Hasta aquí tenemos:

- Sin fuerza fuerte:  $e, \mu, \nu_e, \nu_\mu$ ,  $\leftarrow$  Leptones
- Con fuerza fuerte:  $p, n, \pi$ ,  $\leftarrow$  Hadrones
- Y sus antipartículas. **Total: 14** (empezamos con **2**)
- Fuerzas:  $\gamma, g, W, (G)$   $\leftarrow$  Mediadores (Calibre)



# Con los aceleradores





# Con los aceleradores





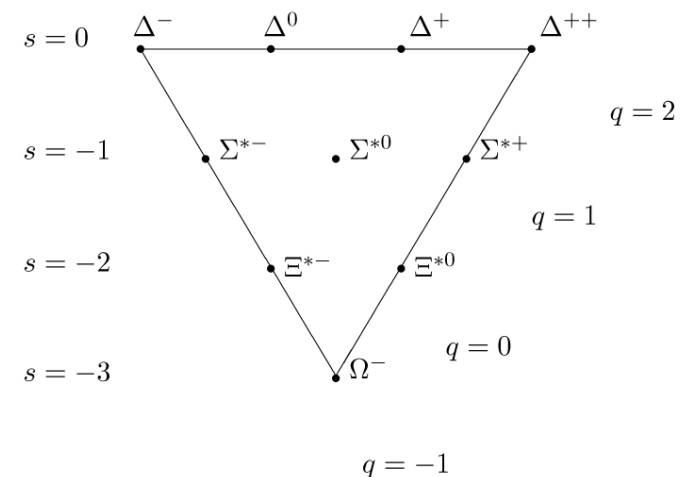
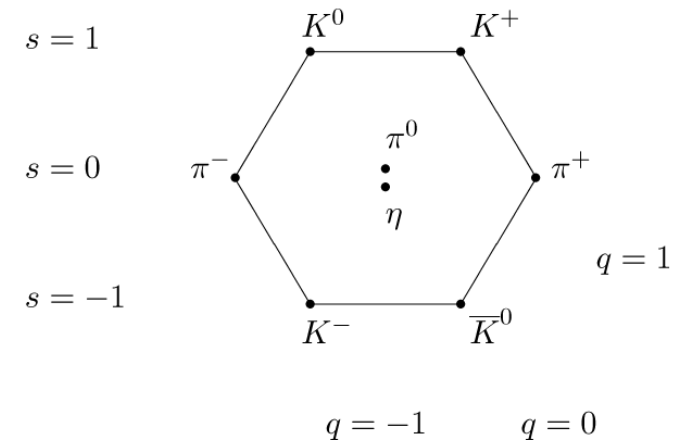
# Con los aceleradores



**Hoy se conocen ~ 1000 hadrones**

# Los hadrones no pueden ser elementales

- Luego, debe haber partículas más simples
- Modelo octuple (Gell-mann, 1961)
- Quarks:
  - Se combinan para formar los hadrones
  - Tienen carga fraccionaria
  - Dos por familia







# Quarks, primera generación

- Hadrones:
  - 3 quarks: bariones
  - 2 quarks: mesones
- Primera generación
  - “up” y “down”
    - Carga eléctrica
      - u: +2/3 e
      - d: -1/3 e
    - masa
      - $m_u$ : 1.7-3.3 MeV
      - $M_d$ : 4.1-5.8 MeV

- Bariones:

$$p : (uud)$$

$$n : (udd)$$

$$\bar{p} : (\bar{u} \bar{u} \bar{d})$$

- Mesones:

$$\pi^+ : (u \bar{d})$$

$$\pi^- : (\bar{u} d)$$

$$\pi^0 : (u \bar{u} + d \bar{d})$$

# Quarks, the next generation

- Segunda generación

- “charm” y “strange”

- Carga eléctrica

- $c: +2/3 e$

- $s: -1/3 e$

- masa

- $m_c: (1.27 \pm 0.07) \text{ GeV}$

- $m_s: (101 \pm 29) \text{ MeV}$

- Tercera generación

- “top” y “bottom”

- Carga eléctrica

- $t: +2/3 e$

- $b: -1/3 e$

- masa

- $m_t: (172 \pm 2) \text{ GeV}$

- $M_b: (4.19 \pm 0.18) \text{ GeV}$



A horizontal banner image depicting the evolution of the universe from the Big Bang to the present. It starts with a bright yellow/orange sphere on the left, transitions through a red field of particles, a purple field of atoms, and ends with a blue field of galaxies on the right. Arrows indicate the progression of time and space.

# ¿y los leptones?

- Tenemos 3 generaciones de quarks
- 3 generaciones de leptones:
  - $e, \nu_e$
  - $\mu, \nu_\mu$
  - $\tau, \nu_\tau$
- $m_\tau = 1776.99 \text{ MeV}$

# La foto de la familia

## THE STANDARD MODEL

	Fermions			Bosons	
Quarks	$u$ up	$c$ charm	$t$ top	$\gamma$ photon	Force carriers
	$d$ down	$s$ strange	$b$ bottom	$Z$ Z boson	
Leptons	$\nu_e$ electron neutrino	$\nu_\mu$ muon neutrino	$\nu_\tau$ tau neutrino	$W$ W boson	
	$e$ electron	$\mu$ muon	$\tau$ tau	$g$ gluon	

Higgs<sup>\*</sup>  
boson

\*Yet to be confirmed

Source: AAAS



# Interacción fuerte: carga de “color”

- Fuerzas y cargas

- G: una carga (masa)
- EM: dos cargas (+,-)
- W: “una” carga (w)
- FF: tres cargas (r,g,b)



- El color no se observa: la naturaleza es “blanca”
- Bariones: ( $qqq$ ) o ( $qq\bar{q}$ )/3
- Mesones: ( $q\bar{q}$ ) (nota: el magenta es el antiverde)
- 8 Gluones: (rojo antiverde), (azul antirrojo), ...

# Para terminar, el Higgs

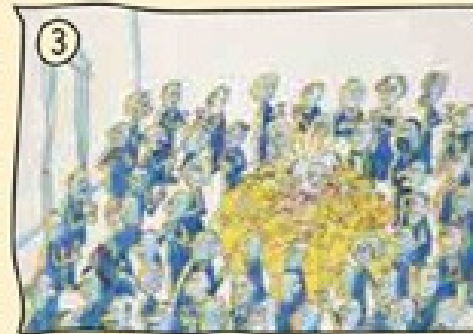
## THE HIGGS MECHANISM

① TO UNDERSTAND THE HIGGS MECHANISM, IMAGINE THAT A ROOM FULL OF PHYSICISTS QUIETLY CHATTERING IS LIKE SPACE FILLED ONLY WITH THE HIGGS FIELD.



A WELL KNOWN SCIENTIST, ALBERT EINSTEIN, WALKS IN, CREATING A DISTURBANCE AS HE MOVES ACROSS THE ROOM AND ATTRACTING A CLUSTER OF ADMIRERS WITH EACH STEP.

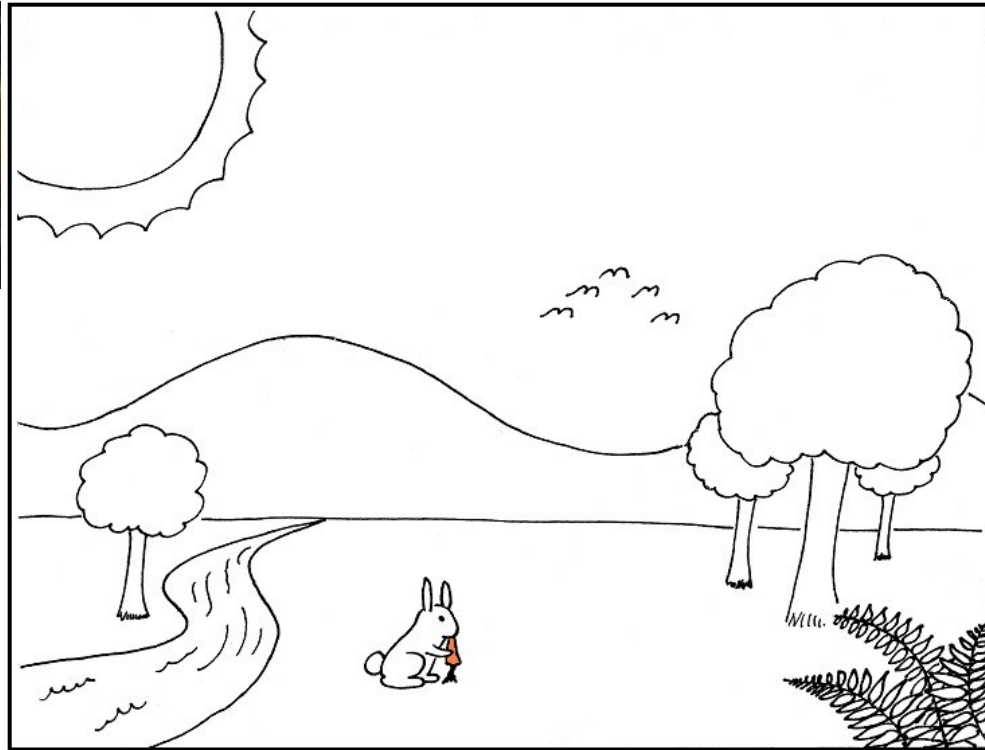
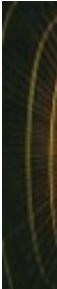
THIS INCREASES HIS RESISTANCE TO MOVEMENT - IN OTHER WORDS, HE ACQUIRES MASS, JUST LIKE A PARTICLE MOVING THROUGH THE HIGGS FIELD.



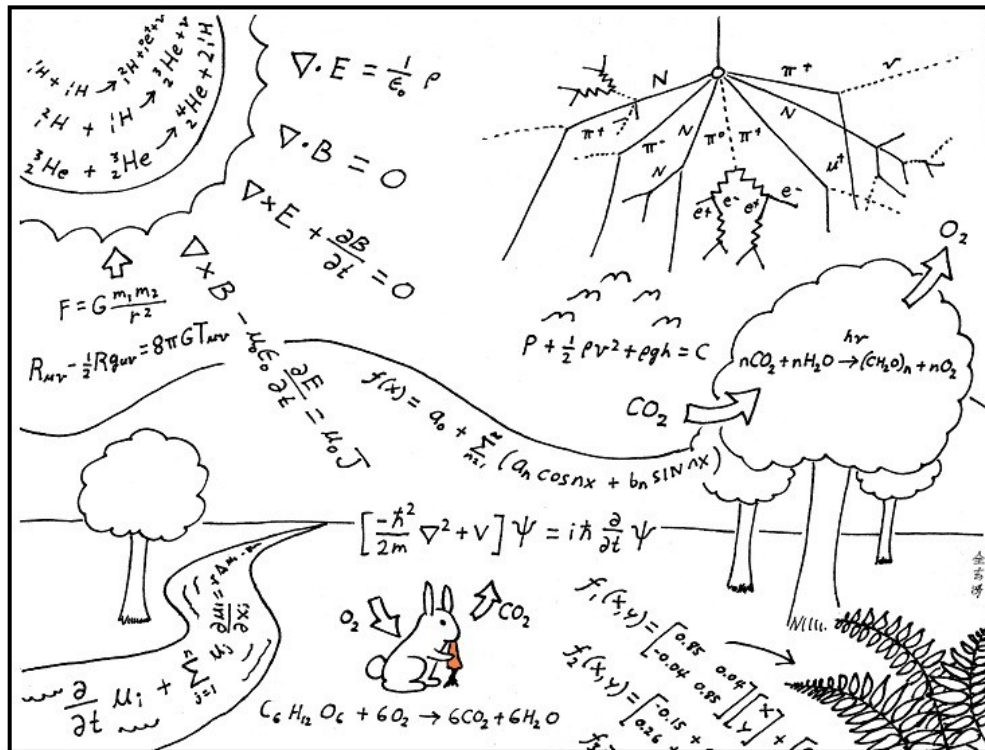
IF A RUMOUR CROSSES THE ROOM ...



IT CREATES THE SAME KIND OF CLUSTERING, BUT THIS TIME AMONG THE SCIENTISTS THEMSELVES. IN THIS ANALOGY, THESE CLUSTERS ARE THE HIGGS PARTICLES.



No se olviden



This is how scientists see the world.

.019 U01C05

35/35