

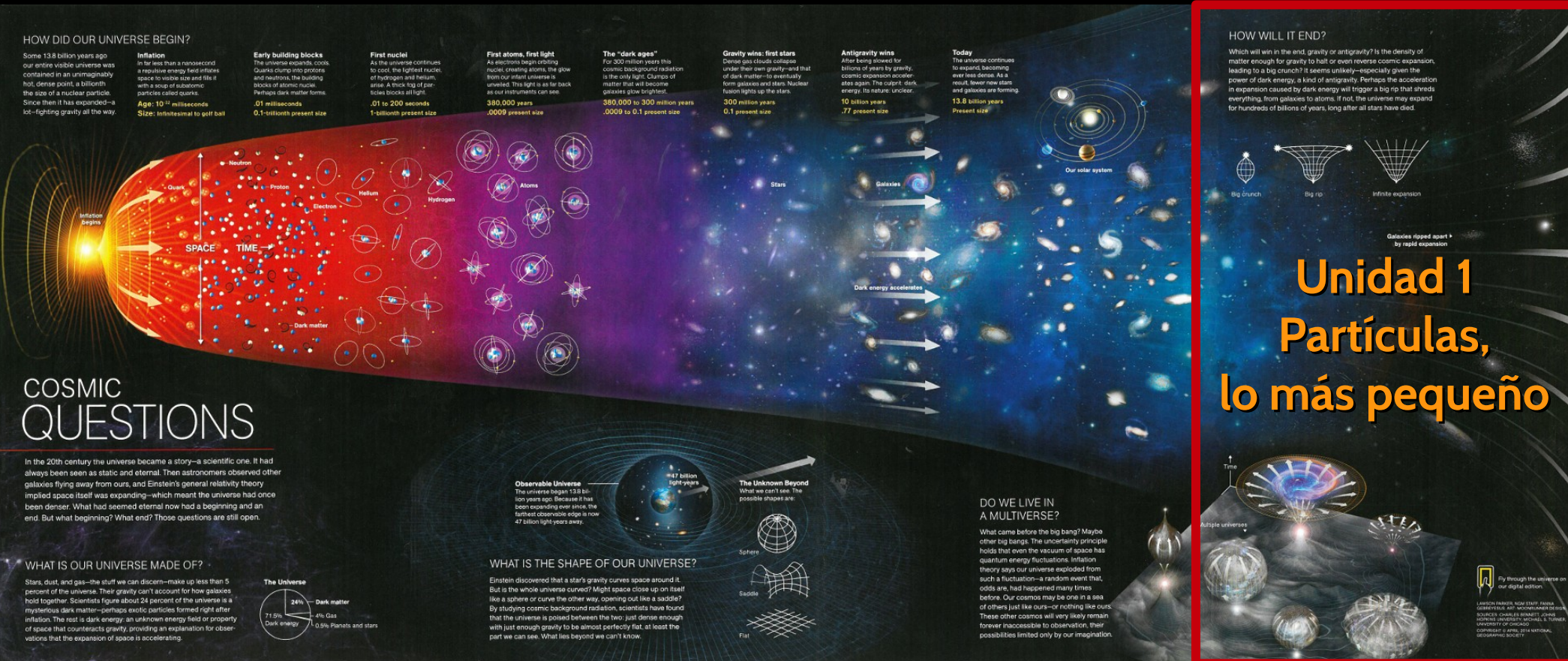
# Universidad Nacional de Río Negro

## Int Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2021

- **Unidad**      01 – El modelo estándar
- **Clase**        U01 C03 - 03/16
- **Fecha**        18 Ago 2021
- **Cont**          Interacción fuerte
- **Cátedra**      Asorey



# Contenidos: un viaje en el tiempo y el espacio





# U1: Partículas, lo más pequeño

## 4 encuentros, del 04/Ago al 25/Ago

- **Dinámica Relativista.**
- **Física de partículas**
  - **Partículas fundamentales: leptones, hadrones, bosones mensajeros**
- **El modelo estándar**
  - **Interacciones fundamentales**
  - **Simetrías y leyes de conservación**
- **Trabajo unidad → fecha máxima de entrega 12/Nov**



**ATLAS**  
EXPERIMENT  
Candidate Event:  
 $pp \rightarrow H(\rightarrow b\bar{b}) + W(\rightarrow \mu\nu)$   
Run: 338712 Event: 335908183  
2017-10-19 23:31:18 CEST



# Resumen hasta aquí (en rojo, en unidades naturales, $\hbar=c=1$ )

- Cantidad de movimiento relativista:

$$\vec{p} = \gamma m \vec{v} \qquad \vec{p} = m \gamma \vec{\beta}$$

- Energía total y cinética relativista:

$$E = \gamma m c^2 \qquad E_K \equiv E - m c^2 = (\gamma - 1) m c^2$$

$$E = \gamma m \qquad E_K \equiv E - m = (\gamma - 1) m$$

- Un nuevo invariante relativista:

$$E^2 - (p c)^2 = (m c^2)^2$$

$$E^2 - p^2 = m^2$$



# Anti electrón (positrón)

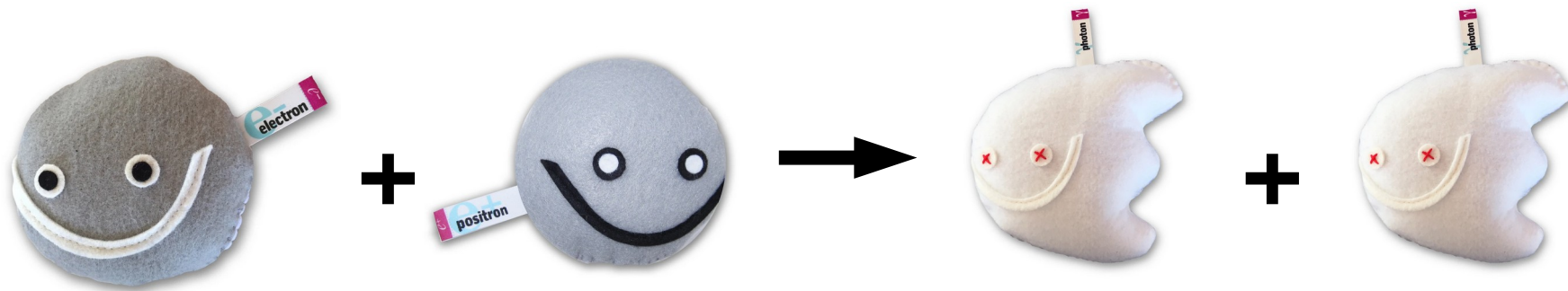
- Positrón (antielectrón),  $e^+$ 
  - masa:  $m_e = 0.511 \text{ MeV}/c^2$
  - Espín:  $\frac{1}{2}$
  - Carga eléctrica: +1
  - Número leptónico: -1
  - Número lep. electrónico: -1
  - Vida media: infinita (estable)



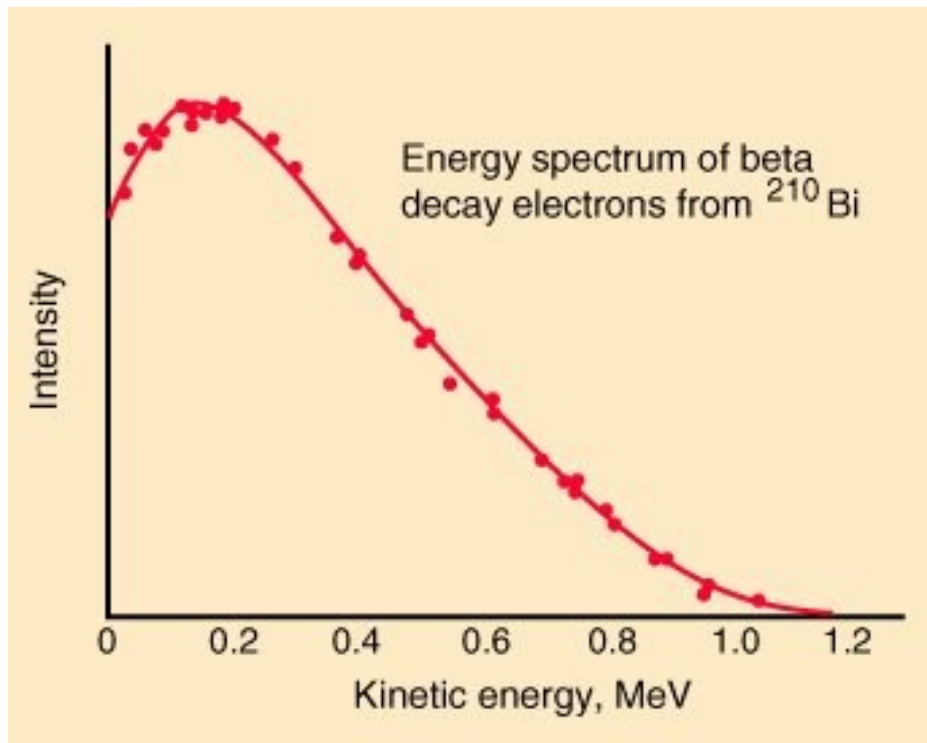




$$e^{-} + e^{+} \rightarrow \gamma + \gamma$$

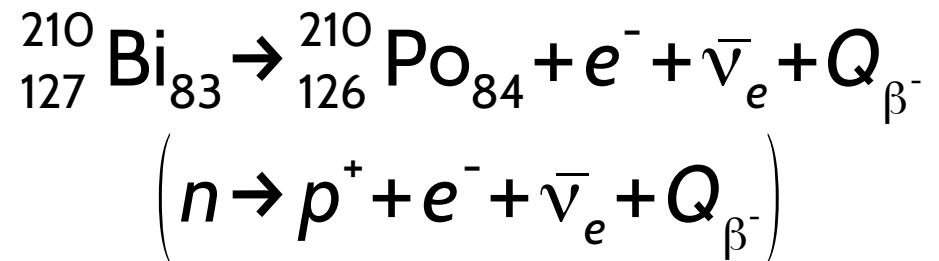


# Decaimiento Beta (continuará)



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

- Decaimiento beta correcto:



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

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



# Mientras tanto en la atmósfera

- ... caen rayos cósmicos
- Anderson descubre una partícula  $m/q \sim 200 m_e/e$

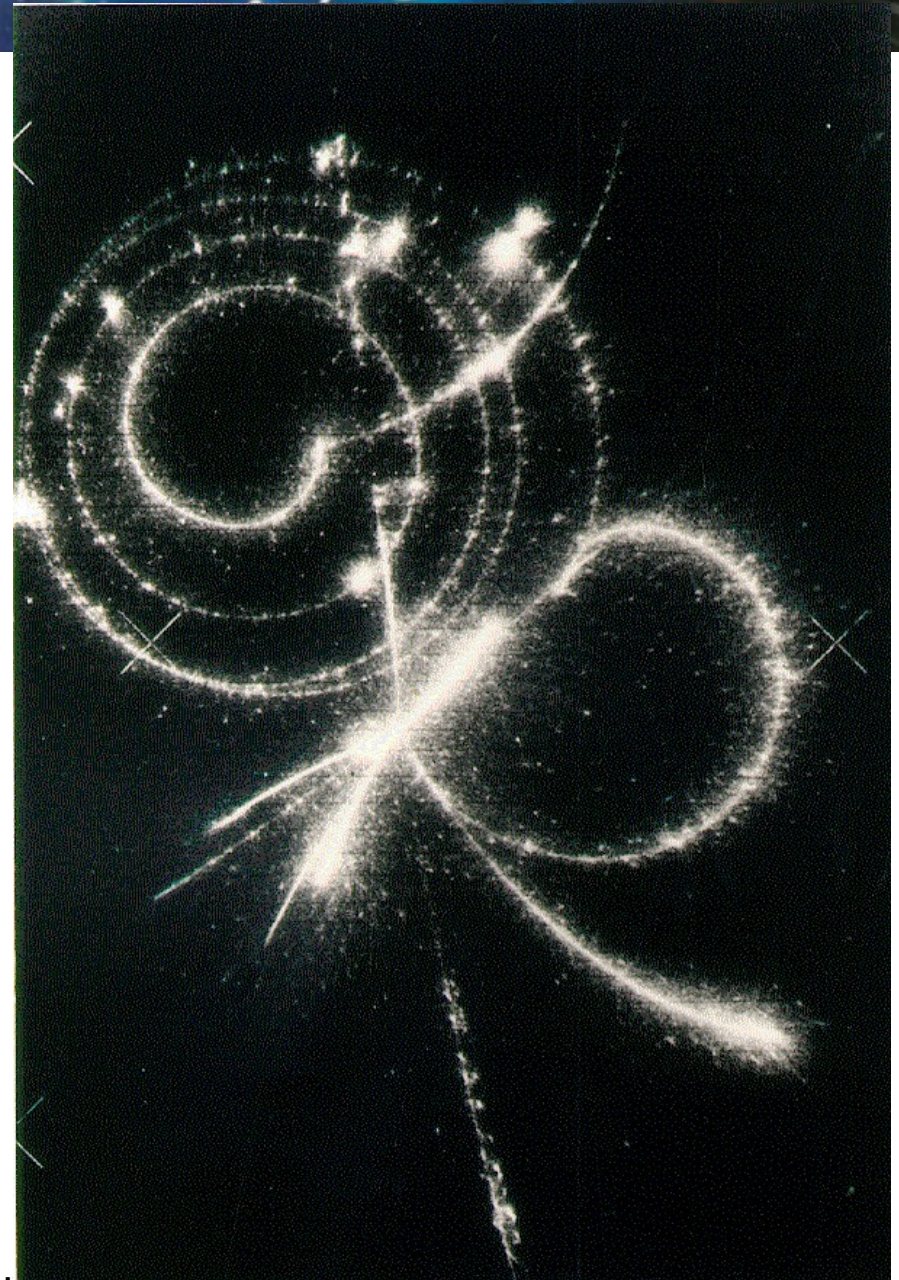
→  $m \sim 100 \text{ MeV}$

- Luego, se observa

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

que también violaba la E

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





- Muón ( $\mu^-$ )
  - masa:  $m_\mu = 105,6 \text{ MeV}/c^2$
  - Espín:  $1/2$
  - Carga eléctrica:  $-1$
  - Número leptónico:  $+1$
  - Número lep. electrónico:  $0$
  - Número lep. muónico:  $+1$
  - Vida media:  $2,196 \mu\text{s}$



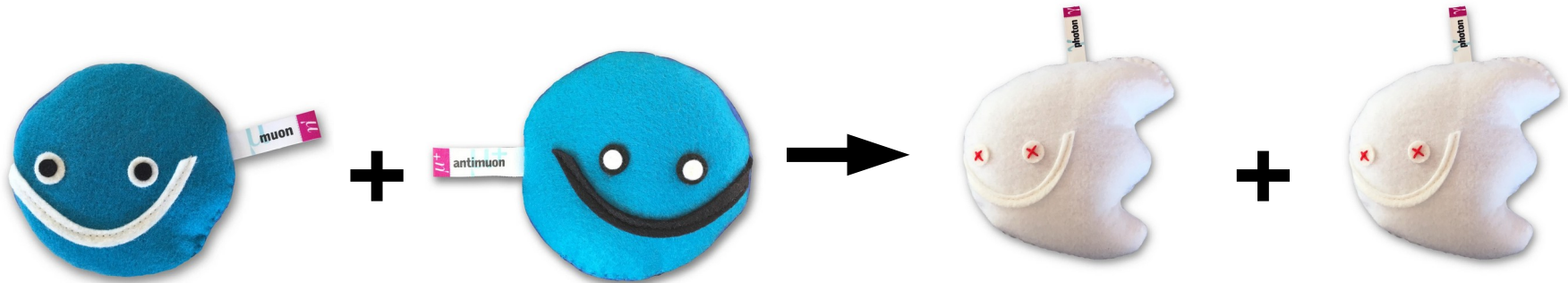
- Antimuón ( $\mu^+$ )
  - masa:  $m_e = 105,6 \text{ MeV}/c^2$
  - Espín:  $1/2$
  - Carga eléctrica: +1
  - Número leptónico: -1
  - Número lep. electrónico: 0
  - Número lep. muónico: -1
  - Vida media:  $2,196 \mu\text{s}$



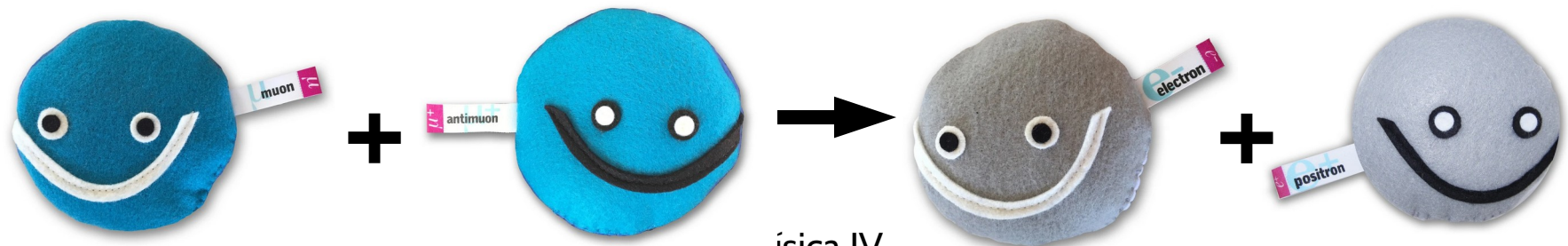


Y si se juntan....

$$\mu^{-} + \mu^{+} \rightarrow \gamma + \gamma$$



$$\mu^{-} + \mu^{+} \rightarrow e^{-} + e^{+}$$



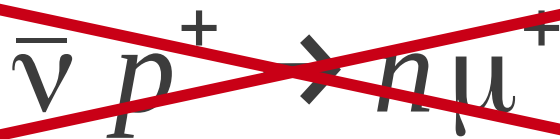
# Probemos esto

- Sección eficaz neutrinos

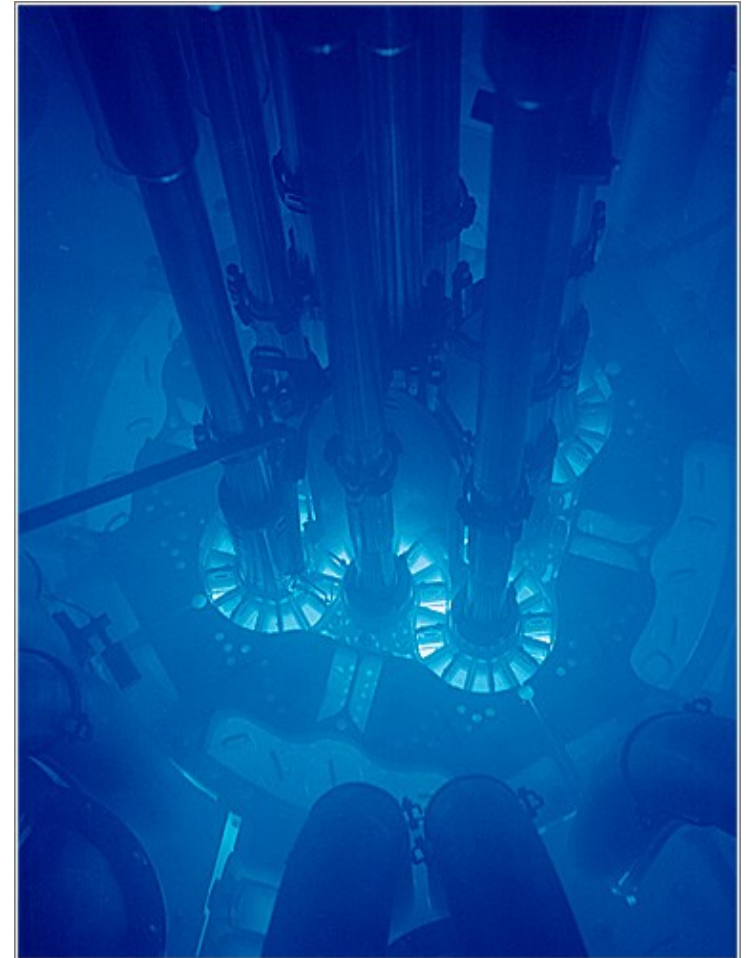
$$\sigma_{\nu} \simeq 10^{-44} \text{ cm}^2$$

~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**



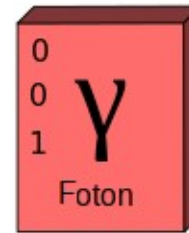


- Existen dos partículas que son muy similares:  $e^-$  y  $\mu^-$
- Tienen la misma carga eléctrica “negativa”
- Tienen espín semientero  $\rightarrow s=1/2$ ,
  - Son fermiones y cumplen con el ppio de exclusión de Pauli
- Sólo se diferencia en su masa:
  - $m_e^- = 0,511 \text{ MeV}/c^2$  y  $m_\mu^- = 105,6 \text{ MeV}/c^2$
- Asociados a estas, existen dos partículas eléctricamente neutras, y aparentemente sin masa:
  - neutrinos,  $\nu_e$  y  $\nu_\mu$ .

# Tenemos los primeros ladrillos

Sabor electrónico

Sabor muónico



masa—	$< 2,2 \text{ eV}/c^2$	$< 0,17 \text{ MeV}/c^2$
carga—	0	0
espín—	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
nombre—	$\nu_e$ Neutrino electrónico	$\nu_\mu$ Neutrino muónico
	$0,511 \text{ MeV}/c^2$	$105,7 \text{ MeV}/c^2$
	-1	-1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	e Electrón	$\mu$ Muón

Con ustedes, los  
**Leptones**  
(leptón → liviano, delicado)



# Tenemos los primeros ladrillos



$<2,2 \text{ eV}/c^2$ $0$ $\frac{1}{2}$ $\nu_e$ Neutrino electrónico	$<0,17 \text{ MeV}/c^2$ $0$ $\frac{1}{2}$ $\nu_\mu$ Neutrino muónico
$0,511 \text{ MeV}/c^2$ $-1$ $\frac{1}{2}$ $e$ Electrón	$105,7 \text{ MeV}/c^2$ $-1$ $\frac{1}{2}$ $\mu$ Muón

Con ustedes, los  
**Leptones**  
(leptón  $\rightarrow$  liviano, delicado)

# Y los antileptones



Con ustedes, los  
**Leptones**  
(leptón → liviano, delicado)



Con ustedes, los  
**AntiLeptones**

Todos los números cuánticos cambiados  
de signo



# Y las primeras principios de conservación

- 1) Conservación de la energía y cantidad de movimiento,  
(es una sola regla)  $\rightarrow E^2 = p^2 + m^2 \leftarrow$  ¡invariante!

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

- 2) Conservación de la carga eléctrica

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

- 3) Conservación del número leptónico

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

- 4) Conservación del número leptónico por sabor

$$\nu_e + n \rightarrow p^+ + e^- + Q_{\beta^-}$$

~~$$\nu_e + n \rightarrow p^+ + \mu^- + Q_{\beta^-}$$~~



# Conservación del número leptónico

- A cada leptón se le asigna una unidad de número leptónico (+1) y a su antileptón lo contrario (-1)
- Es una **magnitud conservada**
  - el **número leptónico total** (cantidad de leptones) antes y después de la reacción debe ser el mismo
- Se asignan números leptónicos por sabor:
  - Número leptónico electrónico:  $e^-$ : (+1);  $\nu_e$ : (+1);  $e^+$ : (-1);  $\bar{\nu}_e$ : (-1)
  - Número leptónico muónico:  $\mu^-$ : (+1);  $\nu_\mu$ : (+1);  $\mu^+$ : (-1);  $\bar{\nu}_\mu$ : (-1)





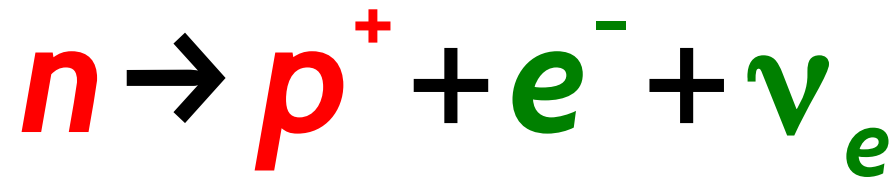
Por ejemplo:



Inicial	Magnitudes	Energía	Carga eléctrica	Número leptónico	Número leptónico electrónico	Número leptónico muónico
	partícula					
	n		0	0	0	0
final	p <sup>+</sup>		+1	0	0	0
	e <sup>-</sup>		-1	+1	+1	0
						0
	Final		0 	+1 	+1 	0 



Por ejemplo:



Inicial	Magnitudes	Energía	Carga eléctrica	Número leptónico	Número leptónico electrónico	Número leptónico muónico
	partícula					
	n		0	0	0	0
final	p <sup>+</sup>		+1	0	0	0
	e <sup>-</sup>		-1	+1	+1	0
	ν <sub>e</sub>		0	+1	+1	0
	Final	✓	0 ✓	+2 	+2 	0 ✓





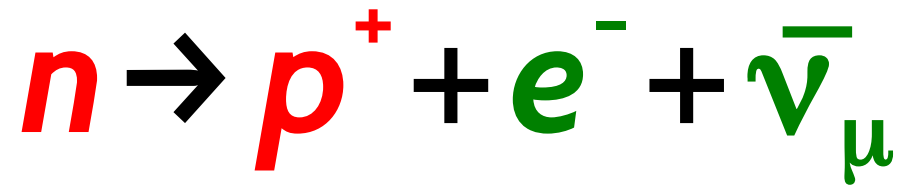
Por ejemplo:

$$n \rightarrow p^{+} + e^{-} + \nu_{\mu}$$

Inicial	Magnitudes partícula	Energía	Carga eléctrica	Número leptónico	Número leptónico electrónico	Número leptónico muónico
	n		0	0	0	0
final	p <sup>+</sup>		+1	0	0	0
	e <sup>-</sup>		-1	+1	+1	0
	ν <sub>μ</sub>		0	+1	0	+1
	Final	✓	0 ✓	+2 	+1 	+1 



Por ejemplo:

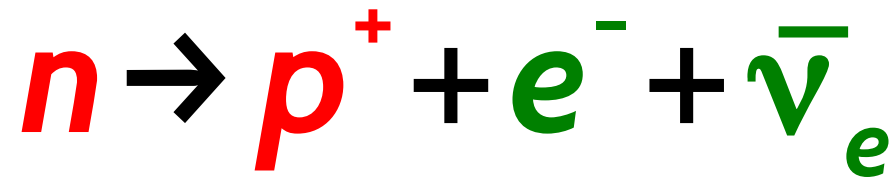


Inicial	Magnitudes	Energía	Carga eléctrica	Número leptónico	Número leptónico electrónico	Número leptónico muónico
	partícula					
	n		0	0	0	0
final	p <sup>+</sup>		+1	0	0	0
	e <sup>-</sup>		-1	+1	+1	0
	<n <sub>μ</sub> >		0	-1	0	-1
	Final	✓	0 ✓	0 ✓	+1 	-1 





Por ejemplo:



Inicial	Magnitudes	Energía	Carga eléctrica	Número leptónico	Número leptónico electrónico	Número leptónico muónico
	partícula					
	n		0	0	0	0
final	p <sup>+</sup>		+1	0	0	0
	e <sup>-</sup>		-1	+1	+1	0
	<n <sub>e</sub> >		0	-1	-1	0
	Final	✓	0 ✓	0 ✓	0 ✓	0 ✓



Por ejemplo:

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

Inicial	Magnitudes	Energy	Lepton number	Number of muons
	partícula			
	n			0
final	p <sup>+</sup>			0
	e <sup>-</sup>			0
	<n <sub>e</sub> >			0
	Final	✓	✓	0 ✓





# Hadrones, bariones y número bariónico

- Las partículas que interactúan fuertemente (tienen carga “fuerte”) se denominan **hadrones**

**Sin interacción fuerte**

**Leptones**

(leptón → liviano, delicado)

**Con interacción fuerte**

**Hadrones**

(hadrón → fuerte, denso)

**Bariones**

(barión → pesado)  
entre ellos los nucleones

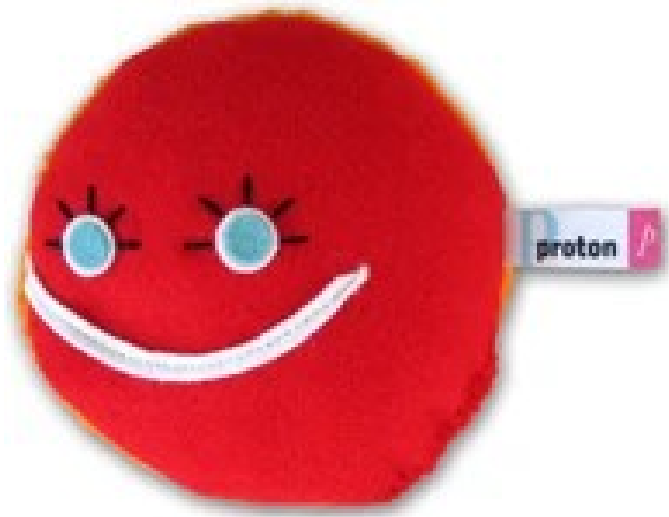
**Mesones**

(mesón → en el medio)

**Con los bariones hay una simetría (carga conservada)**

**Número Bariónico**

# Nucleones: constituyentes del núcleo



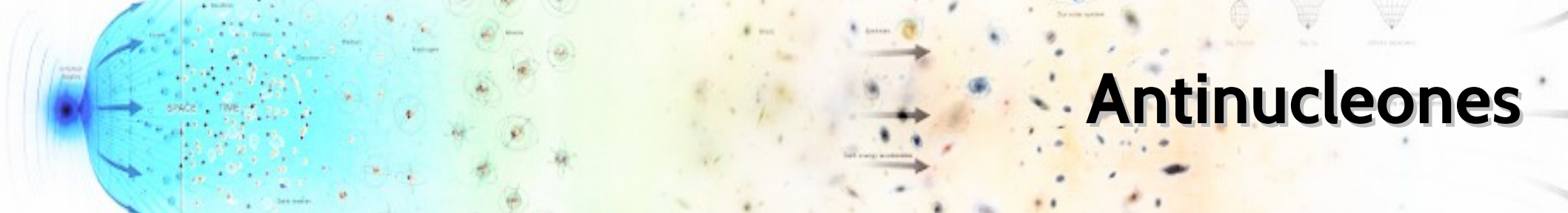
- Protón

- masa:  $m = 938,272 \text{ MeV}/c^2$
- Espín:  $\frac{1}{2}$
- Carga eléctrica: +1
- Número bariónico: +1
- Vida media: infinita (estable)



- neutrón

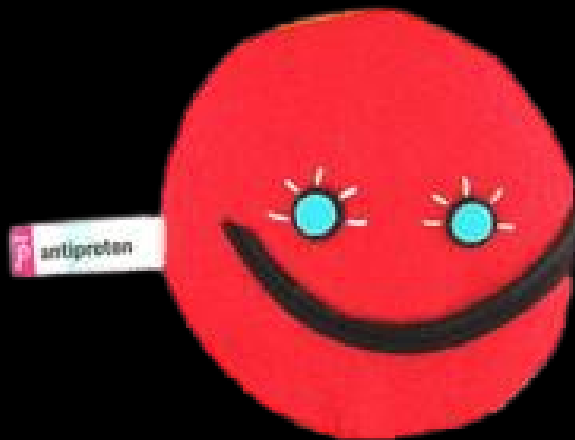
- masa:  $m = 939,565 \text{ MeV}/c^2$
- Espín:  $\frac{1}{2}$
- Carga eléctrica: 0
- Número bariónico: +1
- Vida media: 881,5 s



# Antinucleones

- Protón

- masa:  $m = 938.3 \text{ MeV}/c^2$
- Espín:  $\frac{1}{2}$
- Carga eléctrica: -1
- Número bariónico: -1
- Vida media: infinita (estable)



- neutrón

- masa:  $m = 939.6 \text{ MeV}/c^2$
- Espín:  $\frac{1}{2}$
- Carga eléctrica: 0
- Número bariónico: -1
- Vida media: ¿881,5 s?







# También podríamos haber propuesto

$$n \rightarrow e^+ + e^-$$


Inicial	Magnitudes partícula	Energía MeV	Carga eléctrica	Número leptónico	Número leptónico electrónico
	n	m=939.6	0	0	0
final	e <sup>+</sup>	m=0.511	+1	-1	-1
	e <sup>-</sup>	m=0.511	-1	+1	+1
	Final	✓	0 ✓	0 ✓	0 ✓

## Sin embargo, nunca se observó...

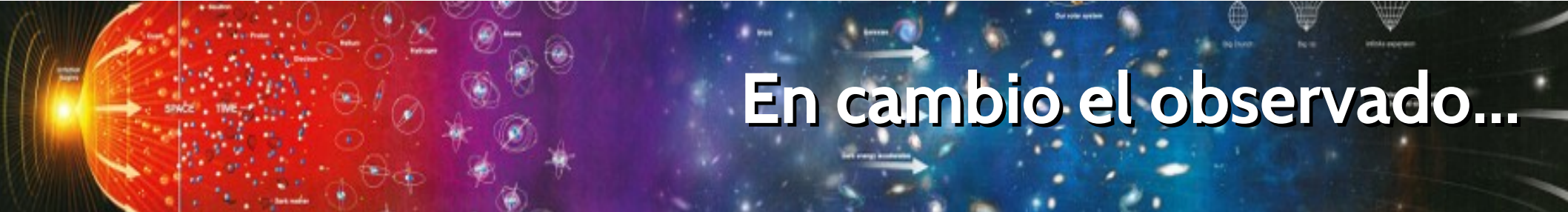
# También podríamos haber propuesto

$$n \rightarrow e^+ + e^-$$

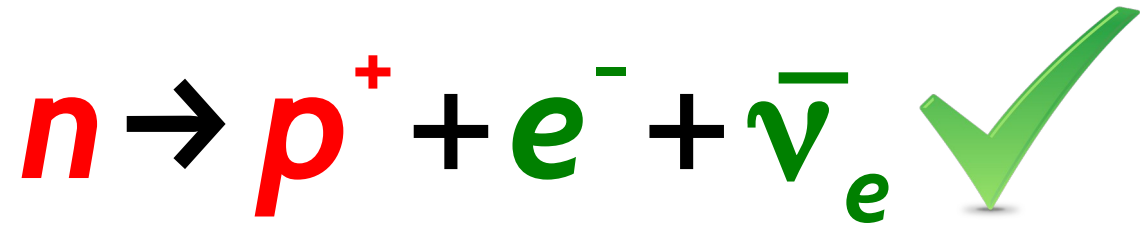


Inicial	Magnitudes partícula	Energía MeV	Carga eléctrica	Número leptónico	Número leptónico electrónico	Número bariónico
	n	m=939.6	0	0	0	+1
final	e <sup>+</sup>	m=0.511	+1	-1	-1	0
	e <sup>-</sup>	m=0.511	-1	+1	+1	0
	Final	✓	0 ✓	0 ✓	0 ✓	0 

## Sin embargo, nunca se observó...



En cambio el observado...



Inicial

Magnitudes partícula	Energía	Carga eléctrica	Número leptónico	Número leptónico electrónico	Número bariónico
n	m=939,6	0	0	0	+1
p <sup>+</sup>	m=938,3	+1	0	0	+1
e <sup>-</sup>	m=0,511	-1	+1	+1	0
<ν <sub>e</sub> >	m<2eV	0	-1	-1	0
Final	✓	0 ✓	0 ✓	0 ✓	0 ✓

final






$$p \rightarrow e^+ + \nu_e$$

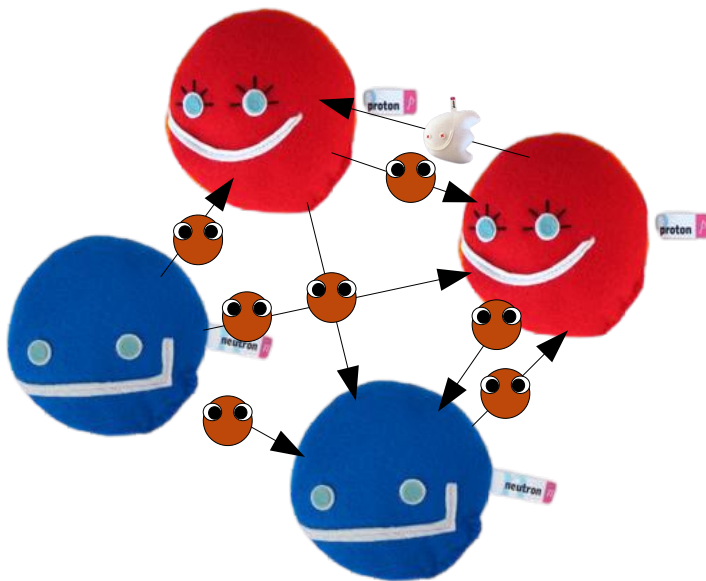
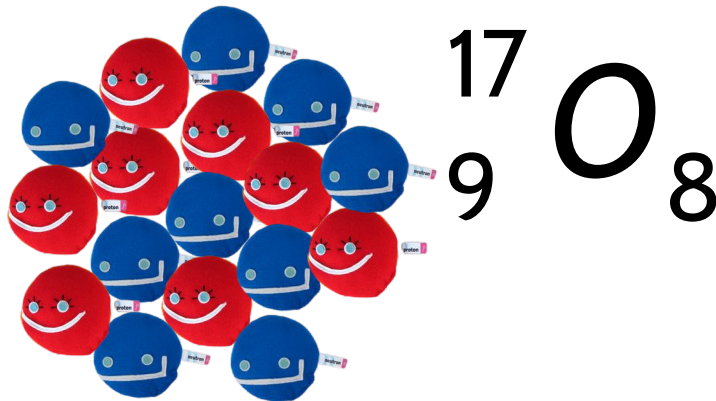


Inicial

final

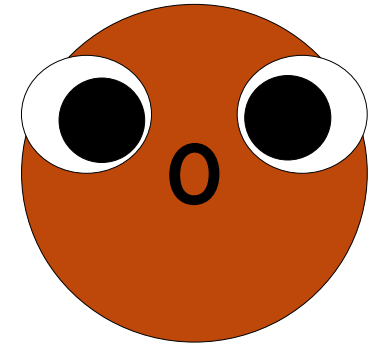
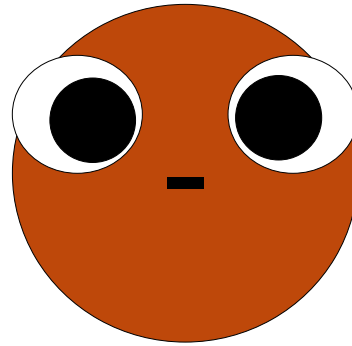
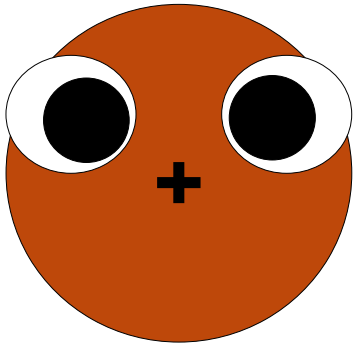
Magnitudes partícula	Energía	Carga eléctrica	Número leptónico	Número leptónico electrónico	Número bariónico
p	m=938,3	+1	0	0	+1
e <sup>+</sup>	m=0,511	+1	-1	-1	0
<ν <sub>e</sub> >	m<2eV	0	+1	+1	0
Final	✓	0 ✓	0 ✓	0 ✓	0 

# Interacción nuclear fuerte (Yukawa)



- Efecto de carga  $\sim Z^2$
- Los neutrones aportan carga fuerte sin aportar carga eléctrica.
- Yukawa (1935) predice la existencia de “**mesones**” como **portadores de la fuerza fuerte nuclear**
- La masa de dicha partícula debiera ser  $m \sim 100 \text{ MeV}/c^2$

# Piones: $\pi^+$ $\pi^-$ $\pi^0$



- Pión+,  $\pi^+$ 
  - Masa:  $139,6 \text{ MeV}/c^2$
  - Espín:  $\frac{1}{2}$
  - Carga eléctrica: +1
  - Número bariónico: 0
  - Vida media: 26 ns
- Pión-,  $\pi^-$ 
  - Masa:  $139,6 \text{ MeV}/c^2$
  - Espín:  $\frac{1}{2}$
  - Carga eléctrica: -1
  - Número bariónico: 0
  - Vida media: 26 ns
- Pión neutro,  $\pi^0$ 
  - Masa:  $135,0 \text{ MeV}/c^2$
  - Espín:  $\frac{1}{2}$
  - Carga eléctrica: 0
  - Número bariónico: 0
  - Vida media:  $8,4 \times 10^{-17} \text{ s}$



# Los piones son inestables → decaimiento

Hadrones  
(con carga fuerte)

$$\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$$

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu$$

$$\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e$$

$$\pi^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e$$

fotones  
(sin carga fuerte)

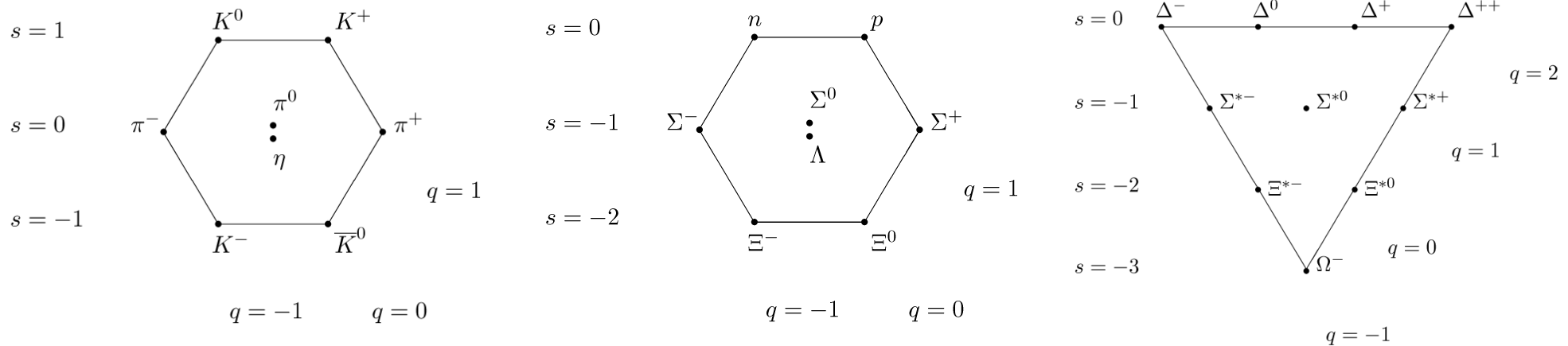
Leptones  
(sin carga fuerte)



# Suena razonable, pero...

- Al igual que el modelo del mar de Dirac, este modelo resuelve muchas cuestiones, pero deja planteadas más preguntas que respuestas
  - ¿Cómo se originan los piones?
  - ¿Por qué son piones y no otras partículas, como los muones o electrones?
  - ¿Como se produce el decaimiento beta?
  - ¿Cuál es el mecanismo del decaimiento del pión? ¿y del muón?
  - ¿Los hadrones (mesones y bariones) son fundamentales o hay otra capa más abajo?

# Y además con los aceleradores...



- En 1961 Murray Gell-Mann y Yvual Nee'man proponen una organización para los hadrones: **el camino octuple**
- Una tabla periódica de los hadrones
  - Predicción de nuevos hadrones
  - Hoy conocemos más de 100 hadrones diferentes
  - Bariones y mesones no son elementales → **Quarks**



- Los quarks son partículas elementales, sin estructura interna, de espín  $\frac{1}{2}$  (fermiones) y carga fraccionaria ( $q < 1e$ )
- **Los hadrones están compuestos por quarks**
  - **Bariones**  $\rightarrow$  3 quarks ( $qqq$ )
  - **Antibariones**  $\rightarrow$  3 antiquarks ( $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$ )
  - **Mesones**  $\rightarrow$  quark + antiquark ( $q\bar{q}$ )
  - **Bariones exóticos**  $\rightarrow$  tetraquarks, pentaquarks (medido 2017)
  - Primera propuesta: 2 quarks  $\rightarrow$  up; down

# El modelo de los quarks



- quark u (up)
  - Masa: 2,16 MeV (\*)
  - Espín:  $1/2$
  - Carga:  $+2/3$
  - Número bariónico:  $+1/3$



- Quark d (down)
  - Masa: 4,67 MeV (\*)
  - Espín:  $1/2$
  - Carga:  $-1/3$
  - Número bariónico:  $+1/3$

(\*) No hay quarks libres, por lo tanto su masa es aproximada

# Antiquarks u y d

- Antiquark u

- Masa: 2,16 MeV (\*)
- Espín: 1/2
- Carga:  $-2/3$
- Número bariónico:  $-1/3$



- Antiquark d

- Masa: 4,67 MeV (\*)
- Espín: 1/2
- Carga:  $+1/3$
- Número bariónico:  $-1/3$



(\*) No hay quarks libres, por lo tanto su masa es aproximada





# Entonces los nucleones

$$p = \begin{pmatrix} u \\ u \\ d \end{pmatrix} \quad n = \begin{pmatrix} u \\ d \\ d \end{pmatrix}$$

- Para el protón:  $q = 2/3 + 2/3 - 1/3 = +1$ ;  $NB = (+1/3) \times 3 = +1$
- Para el neutrón:  $q = 2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$ ;  $NB = (+1/3) \times 3 = +1$

$$\bar{p} = \begin{pmatrix} \bar{u} \\ \bar{u} \\ \bar{d} \end{pmatrix} \quad \bar{n} = \begin{pmatrix} \bar{u} \\ \bar{d} \\ \bar{d} \end{pmatrix}$$

- Para el antiprotón:  $q = -2/3 - 2/3 + 1/3 = -1$ ;  $NB = (-1/3) \times 3 = -1$
- Para el neutrón:  $q = -2/3 + 1/3 + 1/3 = 0$ ;  $NB = (-1/3) \times 3 = -1$



# Otros bariones y mesones:

- Bariones  $\Delta$ :

$$\Delta^{++} = \begin{pmatrix} u \\ u \\ u \end{pmatrix} \quad \Delta^{+} = \begin{pmatrix} u \\ u \\ d \end{pmatrix} \quad \Delta^{0} = \begin{pmatrix} u \\ d \\ d \end{pmatrix} \quad \Delta^{-} = \begin{pmatrix} d \\ d \\ d \end{pmatrix}$$

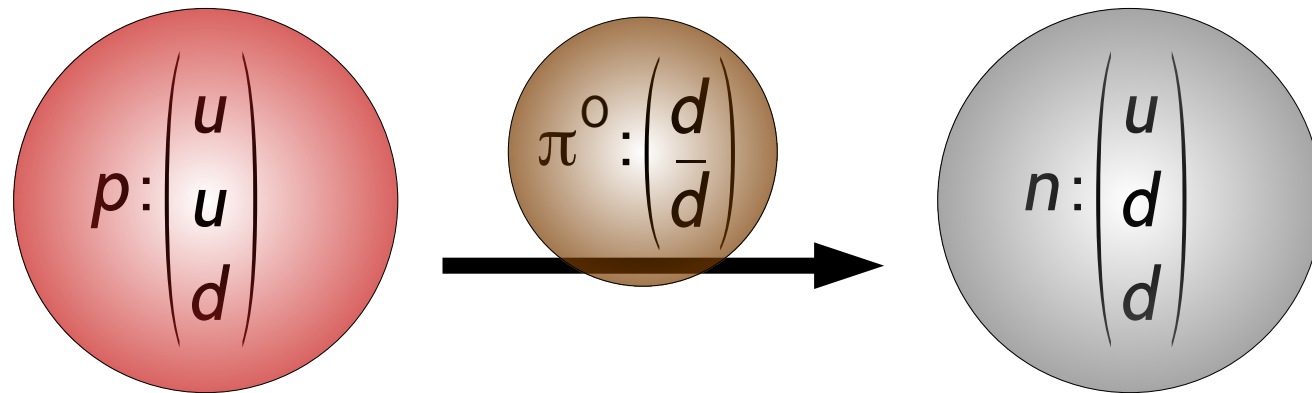
- Mesones  $\pi$ :

$$\pi^{+} = \begin{pmatrix} u \\ \bar{d} \end{pmatrix} \quad \pi^{-} = \begin{pmatrix} d \\ \bar{u} \end{pmatrix}$$

$$\pi^{0} = \begin{pmatrix} u \\ \bar{u} \end{pmatrix} \quad \text{ó} \quad \pi^{0} = \begin{pmatrix} d \\ \bar{d} \end{pmatrix}$$

# Hasta aquí, empezamos a entender algo

- Interacción de Yukawa



- Y algo del beta:  $n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$  es en realidad  $d \rightarrow u + e^- + \bar{\nu}_e$  (la carga se conserva: inicial:  $-1/3$ ; final:  $+2/3 - 1 = -1/3$ )





A horizontal banner image. The left side shows a red, glowing sphere with concentric circles and arrows, labeled 'SPACE' and 'TIME'. The right side shows a blue, starry space with galaxies and arrows pointing right, labeled 'Dark energy acceleration'.

**Pero no todo:**

- Seguimos convirtiendo “hadrones” en “leptones”
- No resolvimos lo de la carga fuerte, sólo encontramos un mecanismo
- En 1947 se encuentra una barión,  $\Lambda^0$ , con un tiempo de vida media de  $10^{-10}$  s ( $\gg \sim 10^{-23}$  s observados en bariones)
- A este comportamiento “extraño” se lo llamó **extrañeza** y se supuso que había una ley de conservación asociada
- Luego, con el modelo de los quarks, se asignó un nuevo tipo de quark: **s**

$$\Lambda^0 = (u d s)$$

# Extraño y encanto



- quark s (strange)
  - Masa: 93 MeV (\*)
  - Espín: 1/2
  - Carga: -1/3
  - Número bariónico: +1/3
  - Extrañeza: -1



- quark c (charm)
  - Masa: 1,27 GeV (\*)
  - Espín: 1/2
  - Carga: +2/3
  - Número bariónico: +1/3
  - Encanto: +1

# Y ahora aparecen un montón de combinaciones

- Mesones extraños: Kaones (mesones K),  $\tau \sim 10^{-8} \text{ s}$

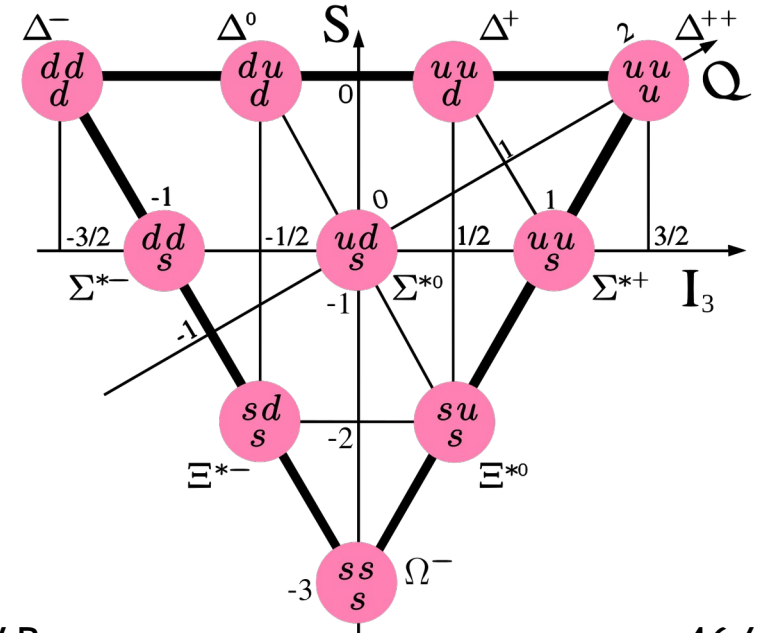
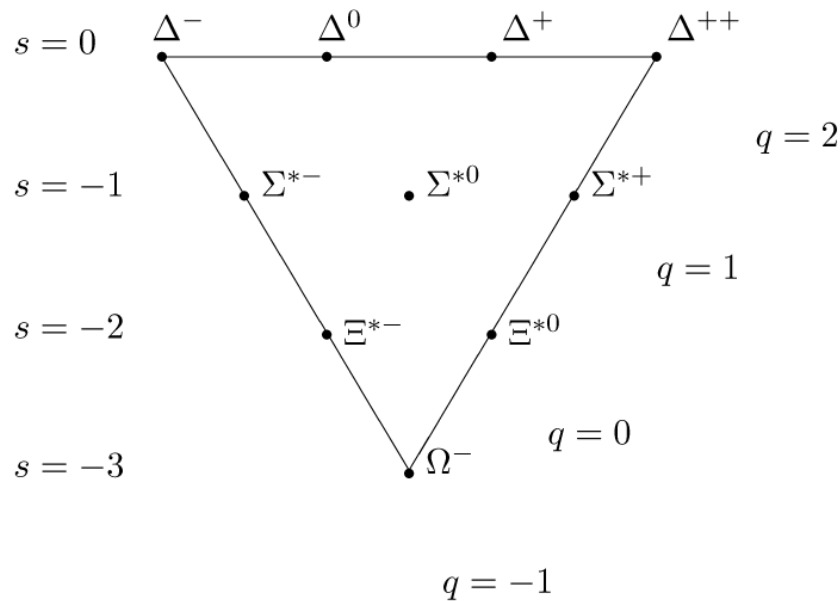
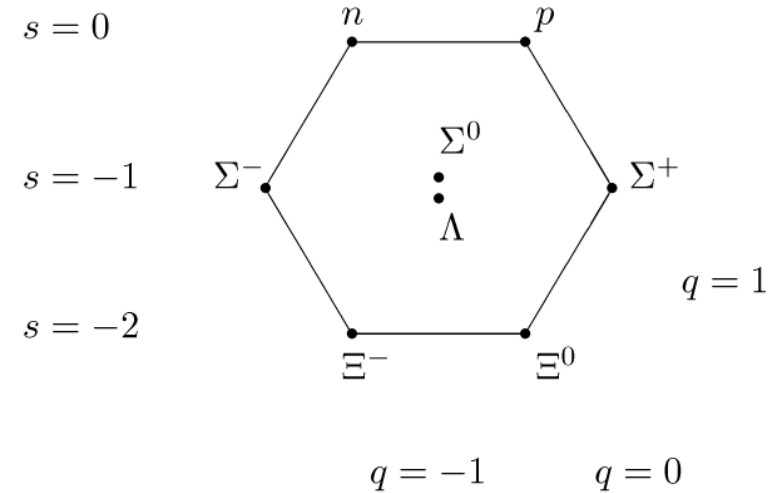
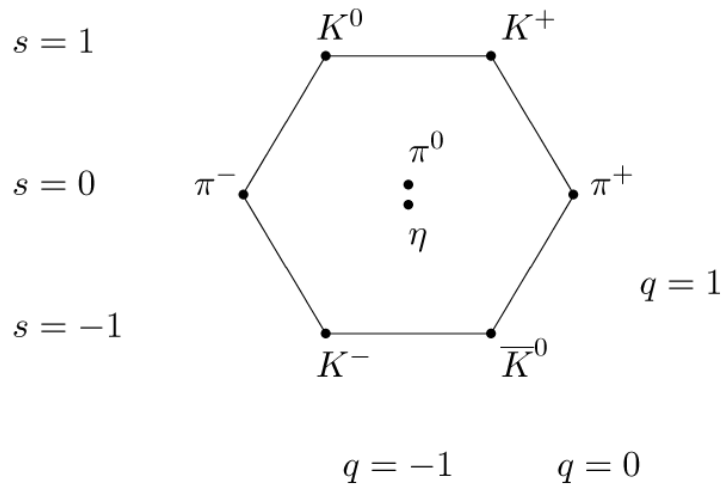
$$K^+ = \begin{pmatrix} u \\ \bar{s} \end{pmatrix} \quad K^- = \begin{pmatrix} \bar{u} \\ s \end{pmatrix} \quad K^0 = \begin{pmatrix} d \\ \bar{s} \end{pmatrix} \quad \bar{K}^0 = \begin{pmatrix} \bar{d} \\ s \end{pmatrix}$$

- Bariones extraños: Sigmas ( $\Sigma$ )

$$\Sigma^+ = \begin{pmatrix} u \\ u \\ s \end{pmatrix} \quad \Sigma^0 = \begin{pmatrix} \bar{u} \\ d \\ s \end{pmatrix} \quad \Sigma^- = \begin{pmatrix} d \\ d \\ s \end{pmatrix}$$



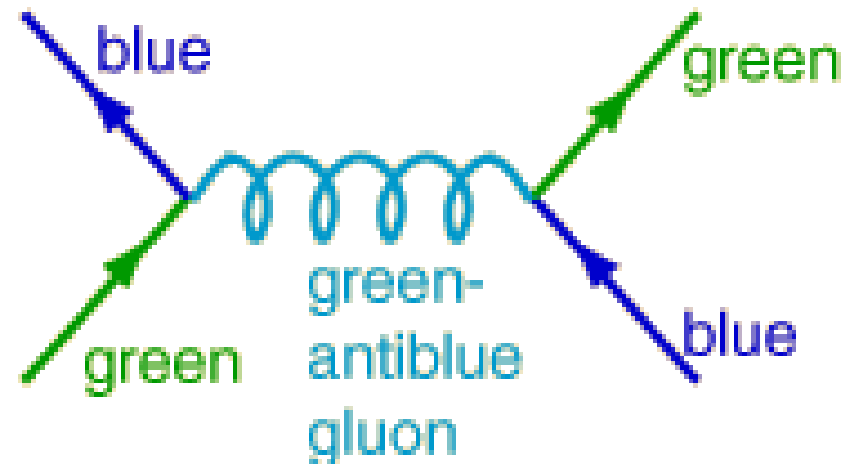
# Y además con los aceleradores...



- Pensemos en el barión  $\Delta^{++} = (u u u)$  o el barión  $\Delta^{-} = (d d d)$
- Los quarks son fermiones
  - ¿Qué pasa con el principio de exclusión de Pauli?
- → **nuevo número cuántico con tres valores posibles**
- Este valor no es “visible” desde el exterior → las combinaciones de quarks son “neutras”
  - Bariones: tres quarks → tres valores posibles
  - Mesones: quark-antiquark → valores opuestos → suma 0
- $r + g + b = \text{blanco}$  ó  $r \langle r \rangle = g \langle g \rangle = b \langle b \rangle = \text{blanco}$

# Los mediadores de color

- El gluón (pegamento) es el mediador de la fuerza fuerte
- Los gluones son bicolores: portan un color y un anticolor
- Hay 8 combinaciones independientes posibles
- Un quark de un color intercambia un gluón con otro quark (interacción fuerte) y cambia de color



Feynman diagram for an interaction between quarks generated by a gluon.



# Intercambio de color como interacción fuerte

- Sea en un barión un par de quarks:  $u d$
- El quark  $u$  emite un gluón azul (su color) y antirrojo (el contrario al color del otro).  
Queda rojo:  $u \Rightarrow d$
- El quark  $d$  recibe antirrojo y azul, queda azul:  $u d$
- El resultado final es el intercambio de carga de color de ambos quarks:  $u d$



# Intercambio de color como interacción fuerte

- La interacción se produce mediante el intercambio de gluones para intercambiar los colores de los quarks respectivos
- Los estados finales se presentan como combinaciones de los tres colores y sus anticolores

$$\frac{(r \bar{r} + b \bar{b} + g \bar{g})}{\sqrt{3}}$$

- Es decir, hay igual probabilidad de medir cada uno de esos pares

# La foto de la familia hasta aquí

	I Gen	II Gen	
masa →	2,4 MeV/c <sup>2</sup>	1,27 GeV/c <sup>2</sup>	0
carga →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
espín →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>γ</b> Foton
	4,8 MeV/c <sup>2</sup>	104 MeV/c <sup>2</sup>	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quark	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>g</b> Gluon
masa →	<2,2 eV/c <sup>2</sup>	<0,17 MeV/c <sup>2</sup>	
carga →	0	0	
espín →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	
nombre →	<b>ν<sub>e</sub></b> Neutrino electrónico	<b>ν<sub>μ</sub></b> Neutrino muónico	
	0,511 MeV/c <sup>2</sup>	105,7 MeV/c <sup>2</sup>	
	-1	-1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	
	<b>e</b> Electrón	<b>μ</b> Muón	

Con ustedes, los  
**Quarks y gluones**  
*(Three quarks for Muster Mark!)*