

# Introducción a la Física Nuclear 2024

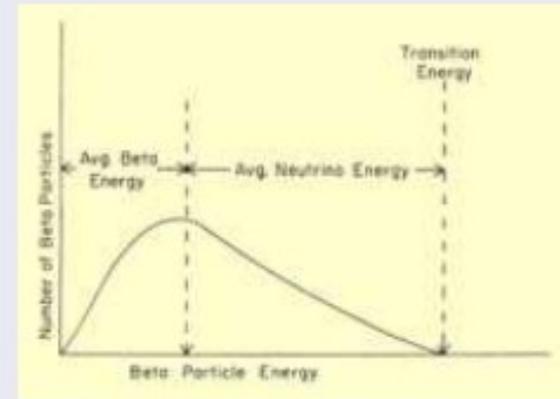
Rodolfo M. Id Betan (Rolo)  
[idbetan@ifir-conicet.gov.ar](mailto:idbetan@ifir-conicet.gov.ar)  
Edificio Ifir, Of. 235 (Esmeralda y Ocampo)

## Decaimiento beta y Ruptura violación de la simetría en la fuerza débil

# Decaimiento beta: Espectro Continuo

## Generalidades

- El decaimiento  $\beta^-$  involucra la emisión de un electrón, mientras el decaimiento  $\beta^+$  involucra la emisión de un positrón.



- El espectro de energía es continuo.
- El estudio del Decaimiento  $\beta$  condujo al descubrimiento del neutrino: Pauli, 1930.
- Fermi, en 1933/34 formuló una teoría de campo para describir el decaimiento  $\beta$ .

# Decaimiento Beta: Reglas de Selección

- El decaimiento  $\beta$  está mediado por la interacción débil.
- Las partículas intermediarias para el decaimiento  $\beta^-$  y  $\beta^+$  son las bosones  $W^-$  y  $W^+$  descubiertos en 1983 y tienen un tiempo de vida medio de  $3 \times 10^{-25}$  seg.
- Leptones: partículas elementales con spin  $1/2$  que no son afectadas por la interacción fuerte. Números cuánticos:  $L(e) = 1$ ,  $L(e^+) = -1$ ,  $L(\nu_e) = 1$ ,  $L(\bar{\nu}_e) = -1$ .
- Bariones: partículas compuestas por tres quarks que sienten la interacción fuerte. Números cuánticos:  $B(n) = 1$ ,  $B(p) = 1$ .
- En el modelo estándar los posible modos de decaimiento  $\beta$  están determinados por la conservación de la carga, el número leptónico y bariónico. Ej:

	n	$\xrightarrow{\beta^-}$	p	+	e	+	$\bar{\nu}_e$
L	0		0		1		-1
Q	0		1		-1		0
B	1		1		0		0

# Decaimientos Beta + y -: Ejemplos

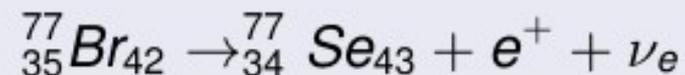
- El decaimiento  $\beta$  cambia el número atómico del núcleo.
  - Decaimiento  $\beta^-$ :

$$(A, Z) \rightarrow (Z + 1, N - 1) + e + \bar{\nu}_e$$



- Decaimiento  $\beta^+$ :

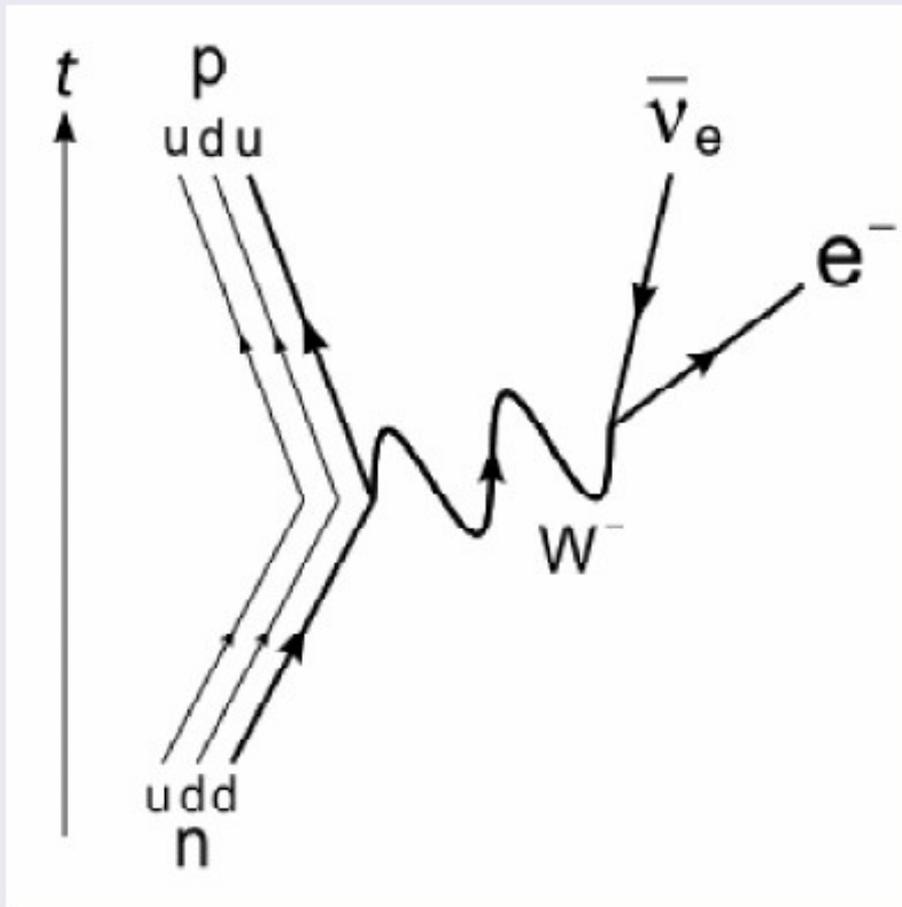
$$(A, Z) \rightarrow (Z - 1, N + 1) + e^+ + \nu_e$$



# **Sobre la Interacción Débil**

# Partícula Mediadora

La interacción débil es la única interacción capaz de cambiar la identidad de los quarks. Ej.: decaimiento del neutrón.



Las tres generaciones de la Materia (Fermiones)

	I	II	III	
masa →	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
carga →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
número →	up	charm	top	photon
	<b>u</b>	<b>c</b>	<b>t</b>	<b>γ</b>
	down	strange	bottom	gluon
Quarks	<b>d</b>	<b>s</b>	<b>b</b>	<b>g</b>
masa →	<2 eV	0.19 MeV	1.82 MeV	90.2 GeV
carga →	0	0	0	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
número →	electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino	fuera n°
	<b>ν<sub>e</sub></b>	<b>ν<sub>μ</sub></b>	<b>ν<sub>τ</sub></b>	<b>Z<sup>0</sup></b>
	electron	muon	tau	fuera débil
Leptones	<b>e</b>	<b>μ</b>	<b>τ</b>	<b>W<sup>±</sup></b>
masa →	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
carga →	-1	-1	-1	±1
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
número →	electron	muon	tau	fuera débil
	<b>e</b>	<b>μ</b>	<b>τ</b>	<b>W<sup>±</sup></b>
	electron	muon	tau	fuera débil
Bosons (Fuerzas)				

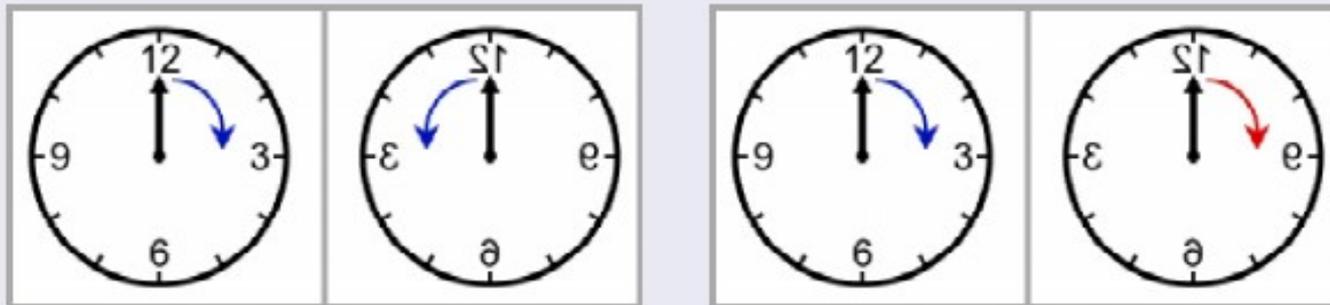
Crédito: Wikipedia.

# Violación de la Paridad

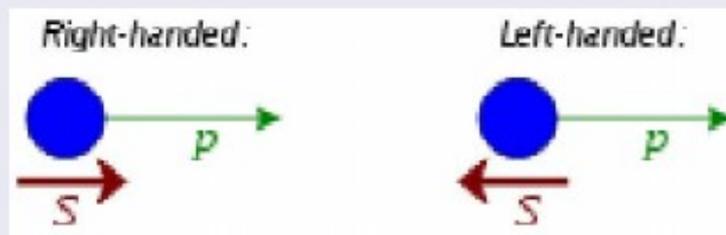
- El postulado de la conservación de la paridad establece que las leyes de la naturaleza son las mismas si uno invierte la coordenada espacial (simetría especular).
- Esta ley de la conservación de la paridad era satisfecha por la gravitación clásica, el electromagnetismo y la fuerza fuerte y se la supuso como una ley universal.
- En 1957 se descubrió experimentalmente que la interacción débil no satisfacía la conservación de la paridad: se observó que los electrones se emitían preferentemente en la dirección opuesta al spin  $\mathbf{J}$ :  $\langle \mathbf{J} \cdot \mathbf{p} \rangle < 0$ .  
 $\mathbf{J}$  es par y  $\mathbf{p}$  es impar, para que  $\langle \mathbf{J} \cdot \mathbf{p} \rangle \neq 0$  necesariamente la paridad tiene que ser violada.

# Sobre la Paridad

- Es la única interacción que no conserva la paridad: significa que la naturaleza y su imagen espejada no se comportan de la misma manera.



- Sólo las componente zurdas (left-handed) de las partículas y las derechas (right-handed) de las antipartículas participan en la interacción débil del Modelo Estándar.



Crédito: Wikipedia.

# Propuesta Experimental

- El objetivo del experimento fué verificar si la paridad se conserva.
- Imaginemos que creamos un mundo a partir del nuestro sustituyendo derecha por izquierda y viceversa.
- Ahora nos preguntamos si tal mundo se comporta como la imagen especular del nuestro.
- Si la paridad se conserva, la respuesta sería afirmativa y no notaríamos la diferencia entre ese mundo y la imagen especular del nuestro.
- En cambio, si la paridad no se conserva, se podría distinguir entre ese mundo cambiado y la imagen especular del nuestro (ver los relojes de la transparencia anterior)

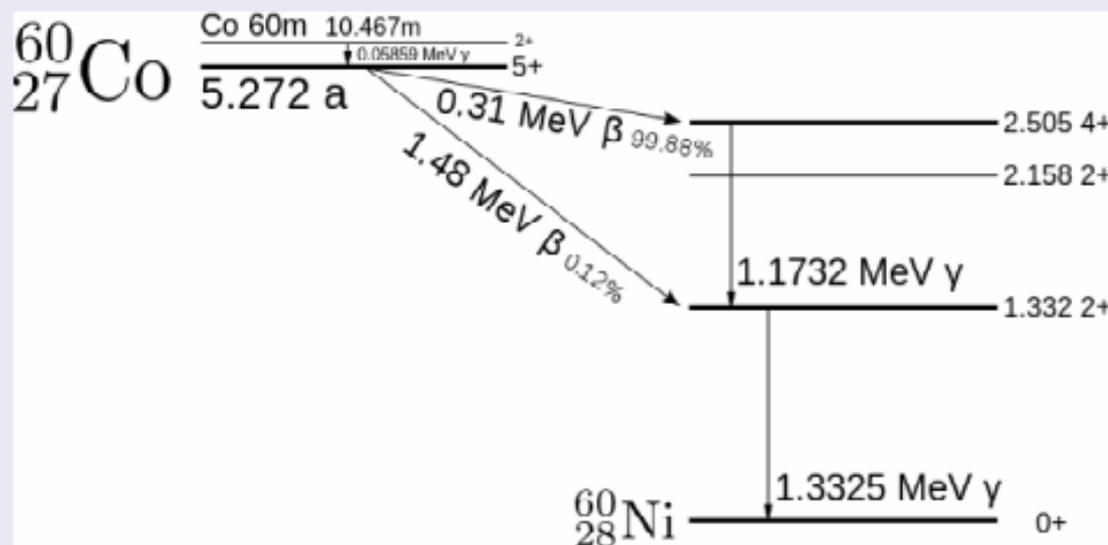
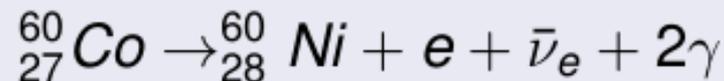
# Experimento

En 1957 se descubrió experimentalmente que la interacción débil no satisfacía la conservación de la paridad: se observó que los electrones se emitían preferentemente en la dirección opuesta al spin  $\mathbf{J}$ :  $\langle \mathbf{J} \cdot \mathbf{p} \rangle < 0$ .

$\mathbf{J}$  es par y  $\mathbf{p}$  es impar, para que  $\langle \mathbf{J} \cdot \mathbf{p} \rangle \neq 0$  necesariamente la paridad tiene que ser violada.

## Experimento del decaimiento del $^{60}\text{Co}$

Para estudiar la conservación de la paridad en la interacción débil se midió el decaimiento de átomos de  $^{60}_{27}\text{Co}$  enfriados a una temperatura cercana al cero absoluto y alineados con un campo magnético uniforme:

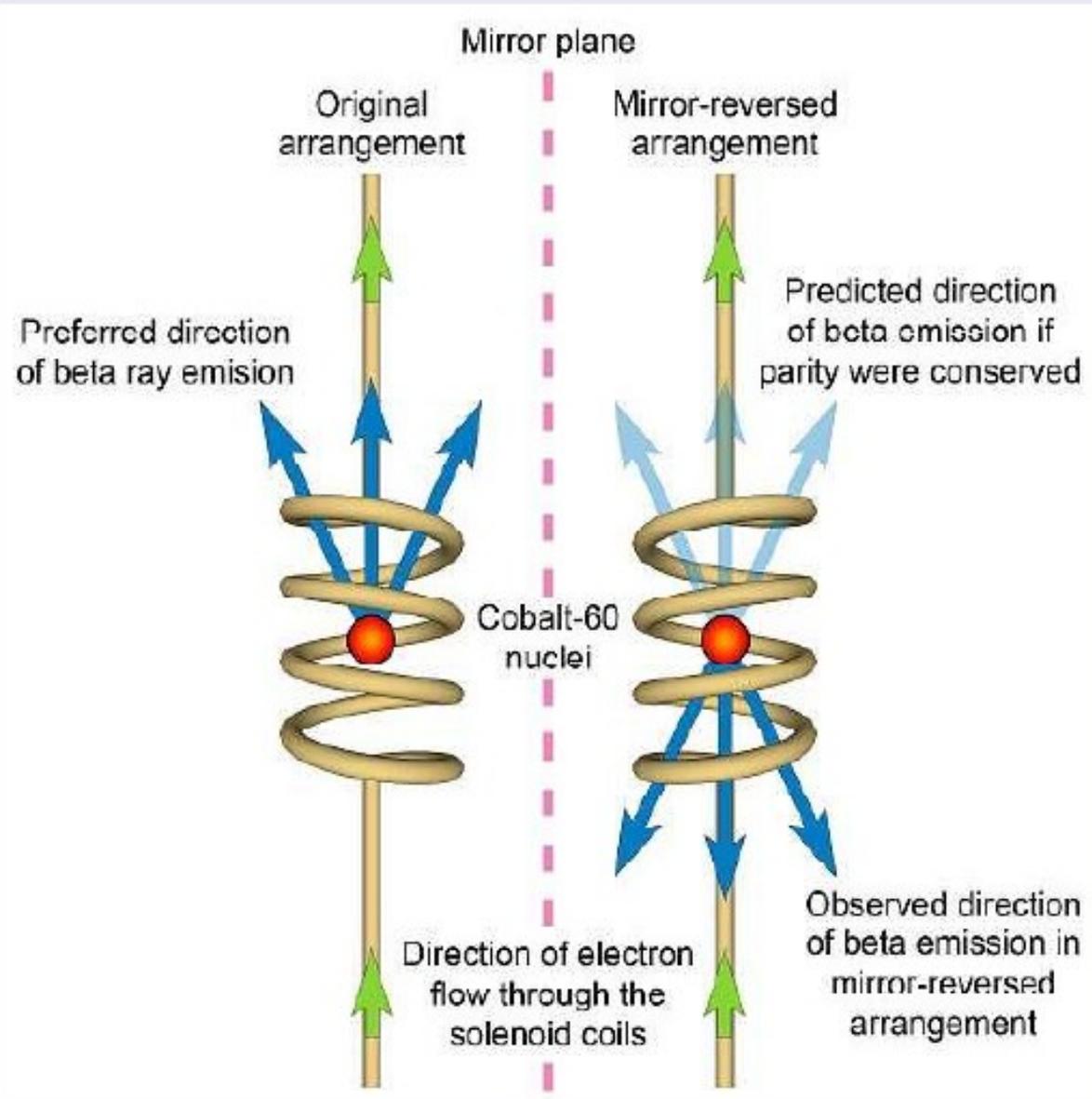


Crédito: Wikipedia.

# Resultado Experimental

- La polarización de los rayos  $\gamma$  fue aproximadamente 60%: 60% fueron emitidos en una dirección y el 40% fueron emitidos en la dirección opuesta.
- Si la interacción débil conserva la paridad la misma proporción en las direcciones se debería encontrar en la emisión de los electrones.
- El experimento no encontró la misma relación 60%/40% en la dirección de los electrones.
- La dirección preferencial de los electrones fue la opuesta al espín del núcleo.

# Imagen Especular



Crédito: Wikipedia.

# **Sobre los Neutrinos**

# Neutrinos con y sin Masa

## Neutrinos de Dirac

En el modelo estándar el neutrino y el antineutrino son considerados entidades diferentes con masa nula.

## Neutrinos de Majorana

En teorías más elaboradas que el modelo estándar, como por ejemplo, la teoría de la gran unificación y la teoría supersimétrica,

- Los neutrinos pueden tener masa.
- El neutrino puede ser su propia antipartícula:  $\nu = \bar{\nu}$ .
- La conservación del número de leptones puede ser violada: lo cual conduce a las oscilaciones de neutrinos entre los tres sabores: electrón, muón, tau.
- La no conservación del número leptónico también da la posibilidad de decaimiento beta doble sin emisión de neutrinos.

**... Fin ...**