

Introducción a la Física Nuclear 2024

Rodolfo M. Id Betan (Rolo)

idbetan@ifir-conicet.gov.ar

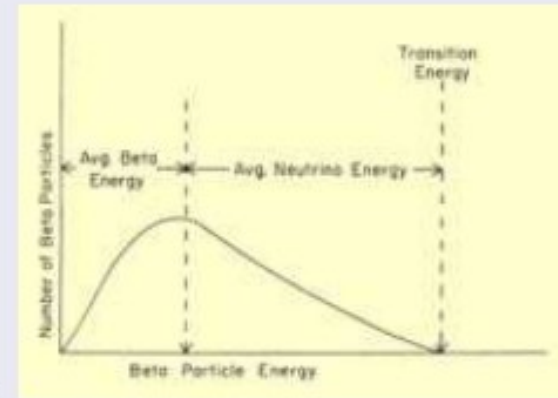
Edificio Ifir, Of. 235 (Esmeralda y Ocampo)

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

Decaimiento beta: Espectro Continuo

Generalidades

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



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

Decaimiento Beta: Reglas de Selección

- El decaimiento β está mediado por la interacción débil.
- Las partículas intermediarias para el decaimiento β^- y β^+ son las bosones W^- y W^+ descubiertos en 1983 y tienen un tiempo de vida medio de 3×10^{-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 β 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

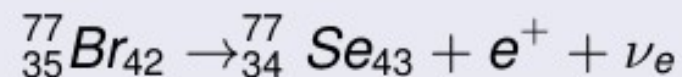
- El decaimiento β cambia el número atómico del núcleo.
 - Decaimiento β^- :

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



- Decaimiento β^+ :

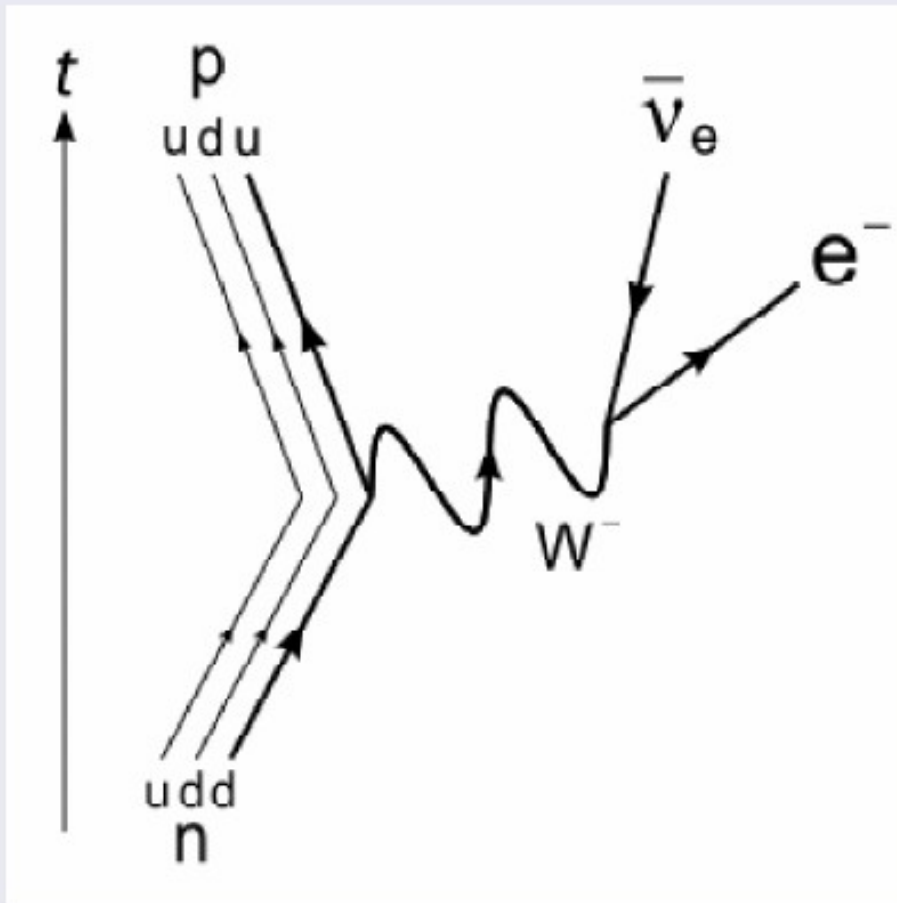
$$(A, Z) \rightarrow (Z - 1, N + 1) + e^+ + \nu_e$$



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
Quarks	6 MeV $-\frac{1}{3}$	95 MeV $-\frac{1}{3}$	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
	down	strange	bottom	1
Leptones	<2 eV 0	0.19 MeV 0	1.78 GeV 0	90.2 GeV 0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
	electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino	1
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	electron	muon	tau	fuera nólil
				fuera débil
				Bosons (Fuerzas)

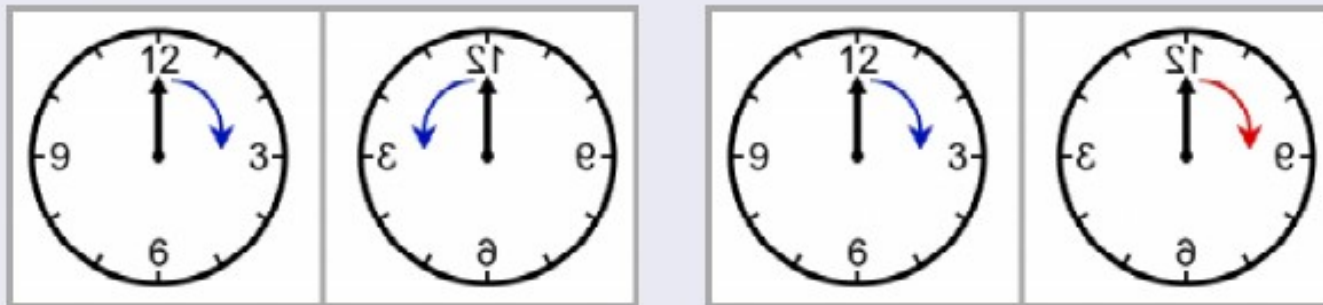
Crédito: Wikipedia.

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)

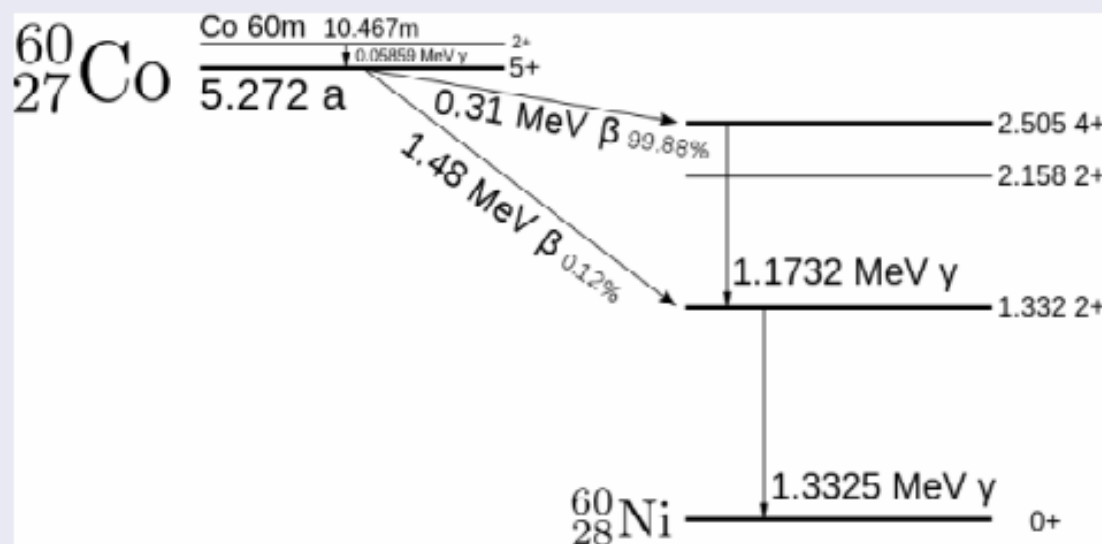
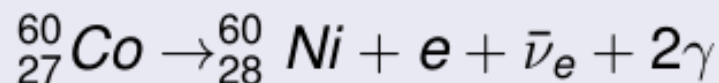
Experimento

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}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:

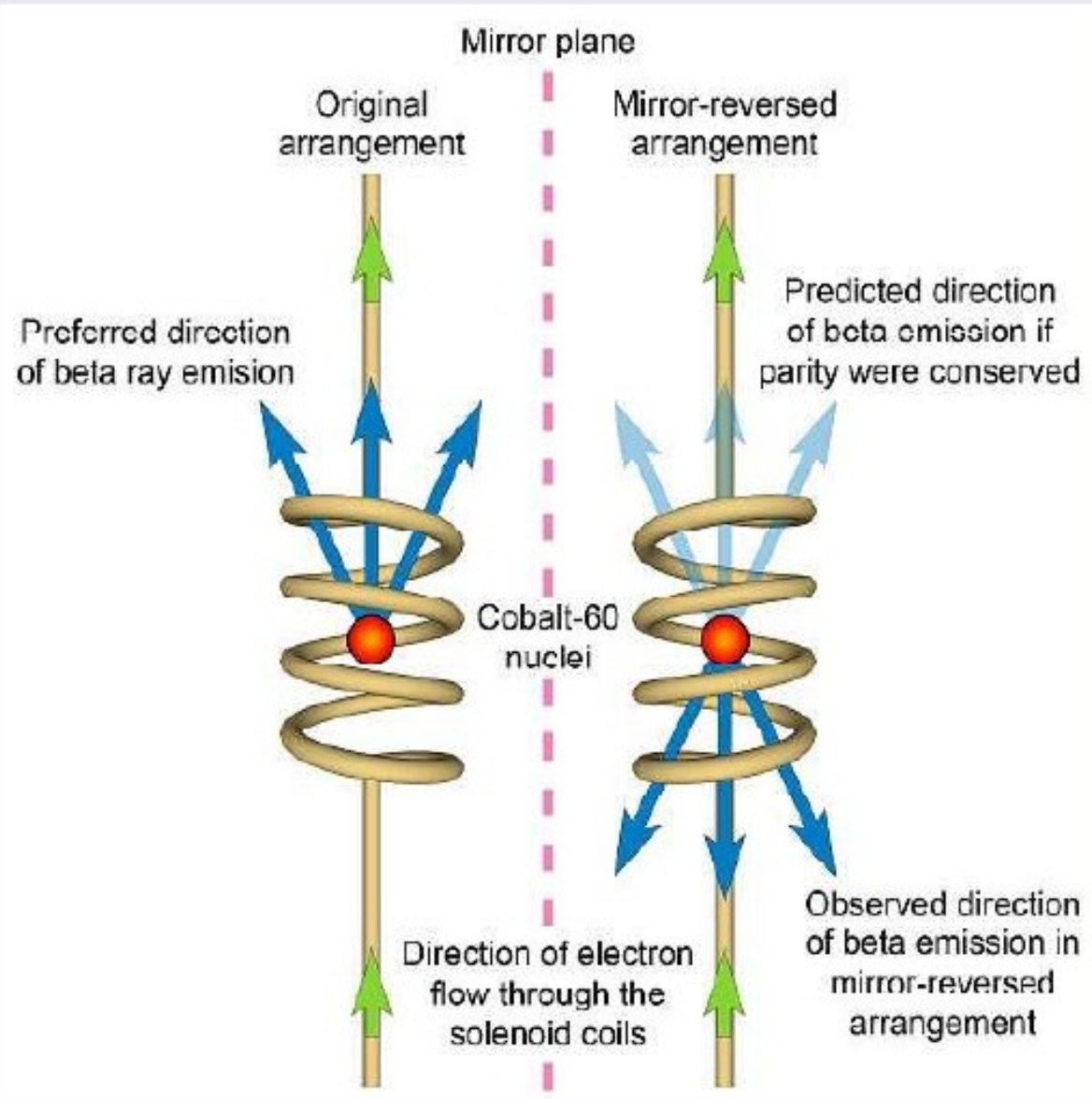


Crédito: Wikipedia.

Resultado Experimental

- La polarización de los rayos γ 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 ...