Interações Fracas (I)

A18 ✓ ①

- EM $\longrightarrow$ QED
- Interações fortes $\longrightarrow$ QCD
- Interações Fracas

Responsáveis pelos decaimentos β:

Ex.

$$n \longrightarrow p\, e^-\, \bar{\nu}_e$$

Decaimentos β de núcleos atómicos

$$^{10}C \longrightarrow {}^{10}B\, e^+ \nu_e$$

$$^{14}O \longrightarrow {}^{14}N\, e^+ \nu$$

$$\Rightarrow \quad p \longrightarrow n\, e^+ \nu_e$$

mas isto não acontece para protões livres.

Outros transições Fracas

• $\pi^- \longrightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu$

• $\mu^- \longrightarrow \nu_\mu + e^- + \bar{\nu}_e$

Observações:

1) Conservação de "Sabor" ou "Número" Leptônico

Vamos que se

$$e \begin{cases} L_e = 1 & \text{para } e^-, \nu_e \\ L_e = -1 & \text{para } e^+, \bar{\nu}_e \\ L_\mu = 1 & \text{para } \mu^-, \nu_\mu \\ L_\mu = -1 & \text{para } \mu^+, \bar{\nu}_e \end{cases}$$

Este número "Leptônico" é conservado nas interações fracas.

ex $\mu^- \longrightarrow e^- \ \bar{\nu}_e \ \nu_\mu \Rightarrow \left.\begin{matrix} L_\mu = 1 \\ L_e = 0 \end{matrix}\right]$ antes e depois.

$\quad L_\mu = 1 \qquad\qquad L_e = 1 \underset{0}{+} L_e = -1 \qquad L_\mu = 1$

Ex $\pi^- \to \mu^- \bar{\nu}_e$ não ocontece

mas $K^- \to \pi^0 \mu^- \bar{\nu}_\mu$ ok

2) Decaimentos Fracos Não-Leptônicos

Ex: $K^+ \to \pi^+ \pi^0 \;,\; \pi^+ \pi^- \pi^+ \;,\; \pi^+ \pi^0 \pi^0$

Assumindo que o π é ímpar sob uma transformação de paridade.

$P|\pi\rangle = -|\pi\rangle$ ⇒ indep. da paridade do K sabemos que

⇒ $K \to 2\pi$ e 3π

⇒ Não-Conservação da paridade nos decaimentos.

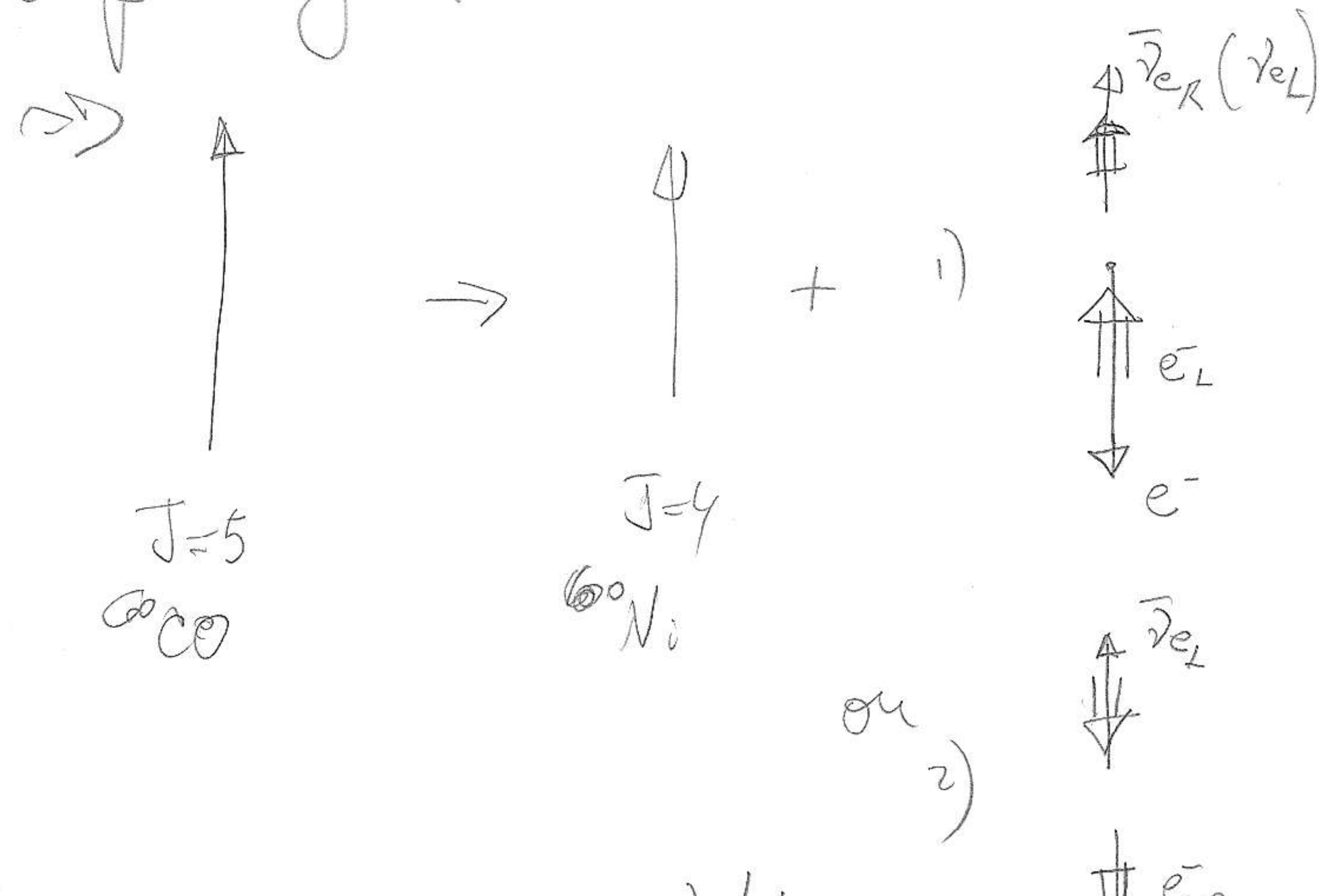
Violação de Paridade em Átomos

Em $^{60}Co \to {}^{60}Ni + e^- + \bar{\nu}_e$

O ^{60}Co tem spin $J = 5$

Campo magnético $\Rightarrow$ spins nucleares alinhados

$\Rightarrow$



Mas se observa sempre 1)!!

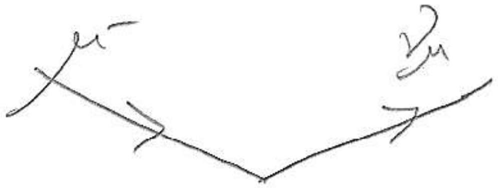
$\Rightarrow$ Violação de Paridade!

e^- sempre quer ir na direção oposta ao spin nuclear (ao campo magnético externo!)

Descrição dos decaimentos fracos

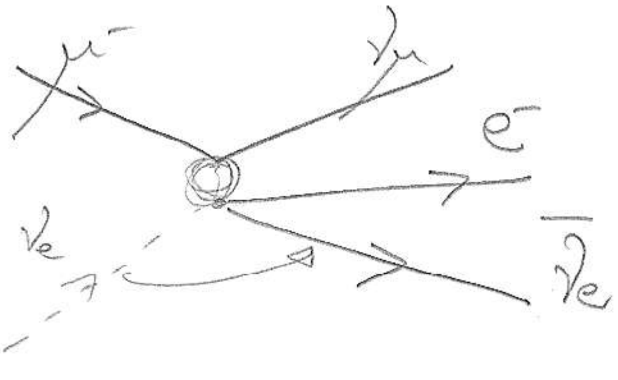
Correntes "carregadas"

Ex: $\mu^- \rightarrow \nu_\mu \, e^- \, \bar{\nu}_e$



Corrente "carregada" com a $+ \; L_\mu = 1$

$\Rightarrow$ No decaimento $(\nu_e^{(i)} \longrightarrow \bar{\nu}_e^{(f)})$



$$\Rightarrow \mathcal{M} \sim \underbrace{\left(\bar{\nu}_\mu \; \square_\alpha \; \mu\right)}_{J_\alpha} \underbrace{\left(\bar{e} \; \square^\alpha \; \nu_e\right)}_{J^\alpha}$$

Lembrando de

$$\mathcal{M} = \not{J}_\mu \left(-\frac{1}{q^2}\right) \not{J}^\mu$$ na QED

MAS aqui não temos "fótons" ⇒ (quais?)

$$\mathcal{M} = G\,(\bar{\nu}_\mu \gamma_\alpha \not{\mu})\,(\bar{e}\,\gamma^\alpha \not{\nu}_e)$$

onde $\boxed{[G] = E^{-2}}$ $\left(\text{em vez do } \frac{1}{q^2}\,!\right)$

⇒ o acoplamento da interação de "contacto" de 4 férmions tem unidades.

MAS, empiricamente sabemos que em todos esses casos as partículas são LH, e as anti-partículas são RH!

Essa amplitude não reflete isto!

Férmions quirais

Weyl.

$$\gamma^5 = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\boxed{\begin{pmatrix} 0 & \mathbb{I} \\ \mathbb{I} & 0 \end{pmatrix}}$$

Em geral;

$$\psi = \psi_L + \psi_R$$

onde

$$\psi_L = \frac{(1-\gamma^5)}{2}\psi$$

$$\psi_R = \frac{(1+\gamma_5)}{2}\psi$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (\gamma^5)^2 = \mathbb{1} \\ \gamma^5\gamma^\mu + \gamma^\mu\gamma^5 = 0 \\ \gamma^{5\dagger} = \gamma^5 \end{array} \right.$$

Mas violação da paridade sugere que só partículas de mão-esquerda estejam nas correntes fracas (carregadas)

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} j^{(e)}_\alpha = \bar{e}_L \gamma_\alpha \nu_{e_L} \\ \\ j^{(\mu)}_\alpha = \overline{\nu_\mu}_L \gamma_\alpha \mu_L \end{array} \right.$$

e

Onde $\overline{e}_L \equiv \overline{(e_L)} = \left[\left(\frac{1-\gamma_5}{2}\right)e\right]^\dagger \gamma^0$

$$\Rightarrow \overline{e}_L = e^\dagger \frac{(1-\gamma_5)}{2}\gamma^0 = e^\dagger \gamma^0 \frac{(1+\gamma^5)}{2} \; !$$

$$\Rightarrow \boxed{\overline{e}_L = \overline{e}\,\frac{(1+\gamma^5)}{2}} \; !$$

ok! Anti-partícula de partícula de LH é RH!

$$\Rightarrow \overline{e}_L \gamma_\alpha \nu_{e_L} = \overline{e}\,\frac{(1+\gamma^5)}{2}\gamma_\alpha \frac{(1-\gamma^5)}{2}\nu_e$$

$$= \overline{e}\gamma_\alpha \frac{(1-\gamma^5)}{2}\frac{(1-\gamma^5)}{2}\nu_e$$

$$= \overline{e}\gamma_\alpha P_L P_L \nu_e = \overline{e}\gamma_\alpha P_L \nu_e$$

$$\boxed{\overline{e}_L \gamma_\alpha \nu_{e_L} = \overline{e}\gamma_\alpha \frac{(1-\gamma_5)}{2}\nu_e}$$

Tradicionalmente, escrevemos (razões históricas)

$$\mathcal{M} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \left(\bar{\nu}_\mu \gamma_\alpha (1-\gamma_5) \mu\right) \left(\bar{e} \gamma^\alpha (1-\gamma_5) \nu_e\right)$$

$$\boxed{\mathcal{M} = 4\frac{G_F}{\sqrt{2}} \left(\bar{\nu}_{\mu L} \gamma_\alpha \mu_L\right)\left(\bar{e}_L \gamma^\alpha \nu_{e L}\right)}$$

Esta é a amplitude para $\mu^- \to \nu_\mu e^- \bar{\nu}_e$!