



Introdução ao Modelo Padrão (Standard Model) 2ª Aula

augusto.barroso@spf.pt

Programa

- Os Constituintes Elementares
 - **Leptons & Quarks**
- As Interações
 - **Forte, Electromagnética, Fraca & Gravítica**
- As Simetrias Discretas
 - **Paridade, Conjugação de Carga e Inversão do Tempo**
- Os Princípios Gerais
 - **Teoria Quântica do Campo**

Os Constituintes Básicos

- Da Matéria

- Quarks

- up
- down

- Leptões

- Electrão
- Neutrino

- Das Interações

- Electromagnética: **Fotão**

- Fraca: **W⁺ W⁻ Z**

- Forte: **8 gluões**

Leptões & Quarks

Os leptões não têm interacção Forte

- Contudo, devido à interacção electromagnética podem formar estados ligados.
- Exemplo: $\mu^- e^+$
- Positrónio

Os quarks formam estados ligados devido à int. Forte

- Os estados ligados são de dois tipos:

– Mesões $q\bar{q}$

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

– Bariões qqq

$$p(uud)$$

$$n(udd)$$

Estabilidade da matéria

- O Protão e o Electrão são estáveis
- Os Mesões e os Leptões carregados das outras famílias decaem em virtude da interacção fraca

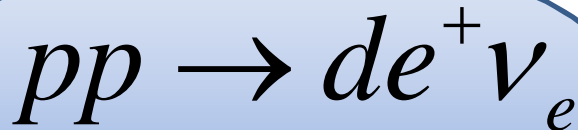
$$\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu \quad \mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$$

- Os Bariões mais pesados também decaem por meio da Interacção fraca

$$n \rightarrow pe^- \bar{\nu}_e \quad \Sigma^+ \rightarrow n\pi^+$$

- And the spirit of God moved
- upon the face of the waters.
- And God said. Let there be light:
- And there was light
 - Joseph Haydn, “the Creation”

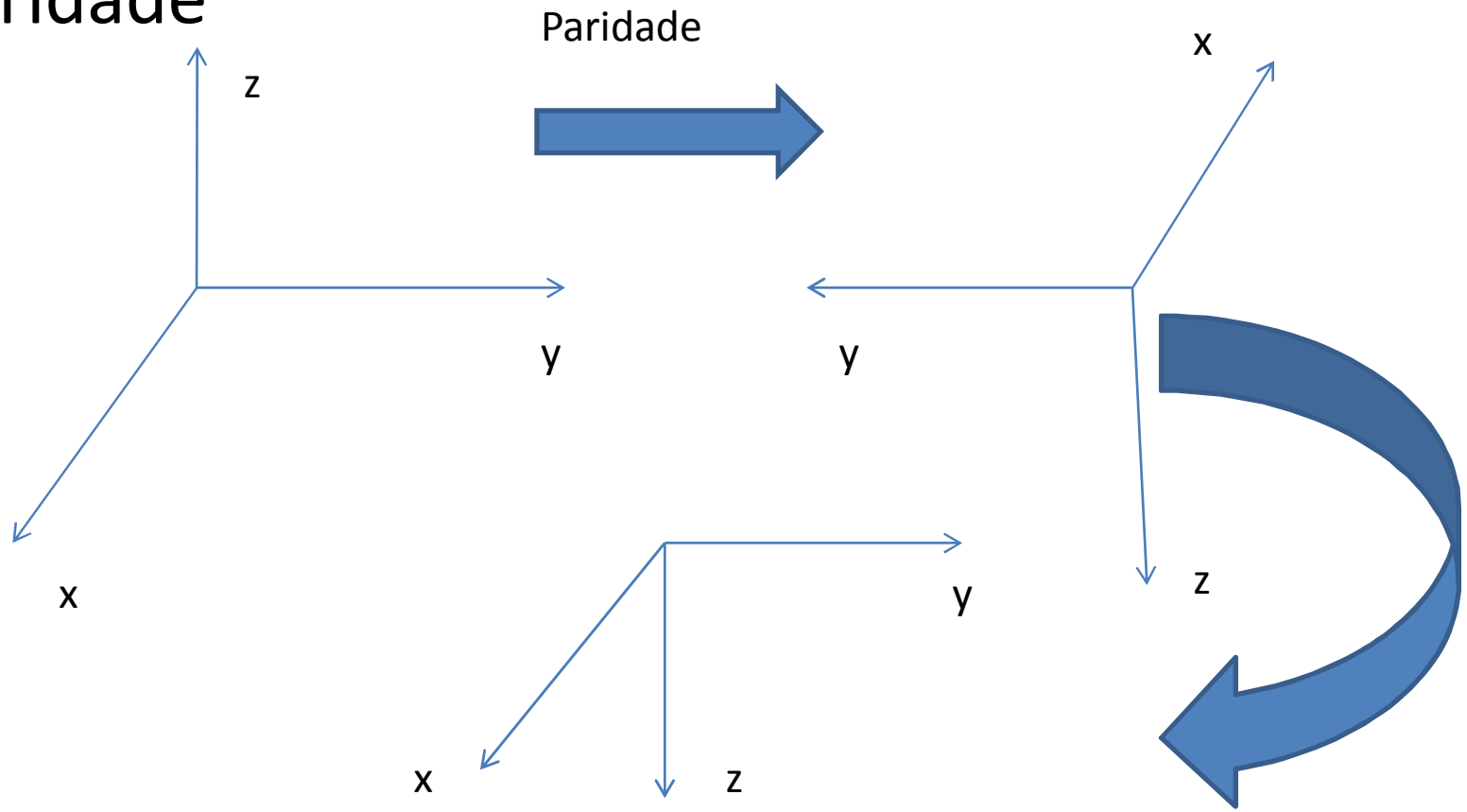
- Faça-se a Interação Fraca !



**Quase 3 % da energia produzida no Sol corresponde aos neutrinos.
Chegam à Terra 40 mil milhões de neutrinos por cm² e por segundo.**

Simetrias Discretas

- Paridade

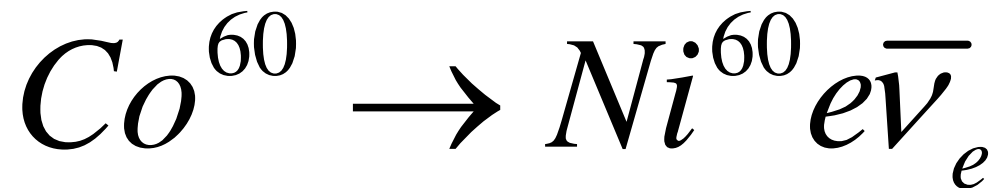


Paridade 1

- Aplicar duas vezes a paridade dá evidentemente o estado inicial: $P^2 = 1$
- Isto significa que as partículas elementares podem ter uma paridade intrínseca, **+1** ou **-1**
- Os quarks têm, **por convenção**, Paridade 1.
- Mas então a teoria (Eq. de Dirac) **exige** que os antiquarks tenham paridade -1.
- A Paridade é multiplicativa.
- Protões têm $P=1$ mas os Piões têm $P=-1$.

Paridade 2

- Até 1956 todos os Físicos acreditavam que a Paridade era conservada.
- Por essa altura, C.N. Yang & T. D. Lee apontaram que não existia evidência experimental para que P fosse conservada pelas interacções Fracas.
- Descoberta da Madame Wu



Conjugação de Carga

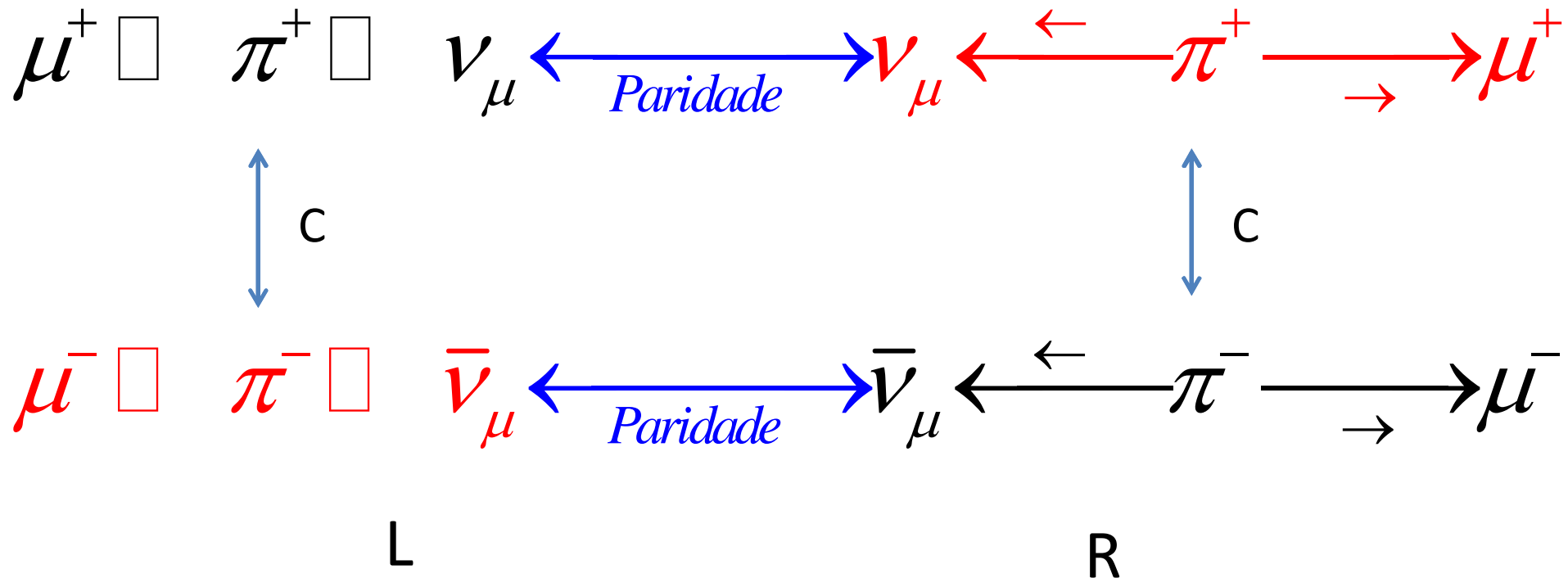
- É a operação de passagem de Partícula a anti-partícula.

$$C |e^{-}\rangle = |e^{+}\rangle$$

$$C |u_R\rangle = |\bar{u}_{\bar{R}}\rangle$$

- Os positrões obedecem às mesmas leis do que os electrões! Os protões às mesmas leis que os antiprotões!

As Interações Fracas Violam P, Violam C mas *parecem conservar CP*



As transições a vermelho não ocorrem . Só ocorrem as que estão a preto

A violação de CP

Tudo estava tranquilo e feliz até que, em 1964, Cronin e Fitch descobriram outro problema!

$$|K^0\rangle = |d\bar{s}\rangle$$

$$|\bar{K}^0\rangle = |\bar{d}s\rangle$$

$$|K_S\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|K^0\rangle - |\bar{K}^0\rangle)$$

$$|K_L\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|K^0\rangle + |\bar{K}^0\rangle)$$

Dois Piões CP=+1

Três Piões CP=-1

Descobriram que KL também decaía em 2 piões!!!!

Inversão do Tempo

- As leis da Física são invariantes para a transformação de t em menos t .
- Ao nível microscópico não existe seta do tempo.
- **Contudo, envelhecemos e morremos!**
 - Porquê?
- **TEOREMA CPT:** Todas as TQC locais, Invariantes de Lorentz e que respeitem a conexão spin estatística, são invariantes CPT.

FIM

