

# Introdução ao Modelo Padrão (Standard Model)

## 2ª Aula

augusto.barroso@spf.pt

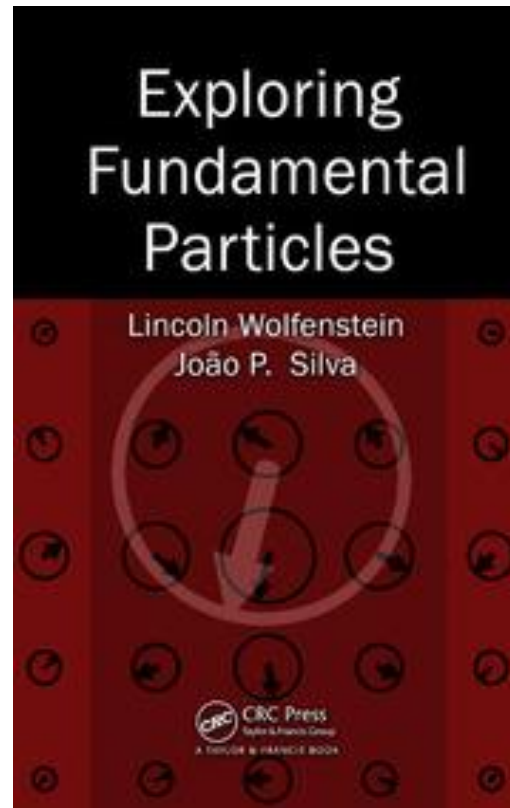
# Exploring Fundamental Particles

***Lincoln Wolfenstein***

***Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA***

***João P. Silva***

***Institute of Engineering of Lisbon, Portugal***



# 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**

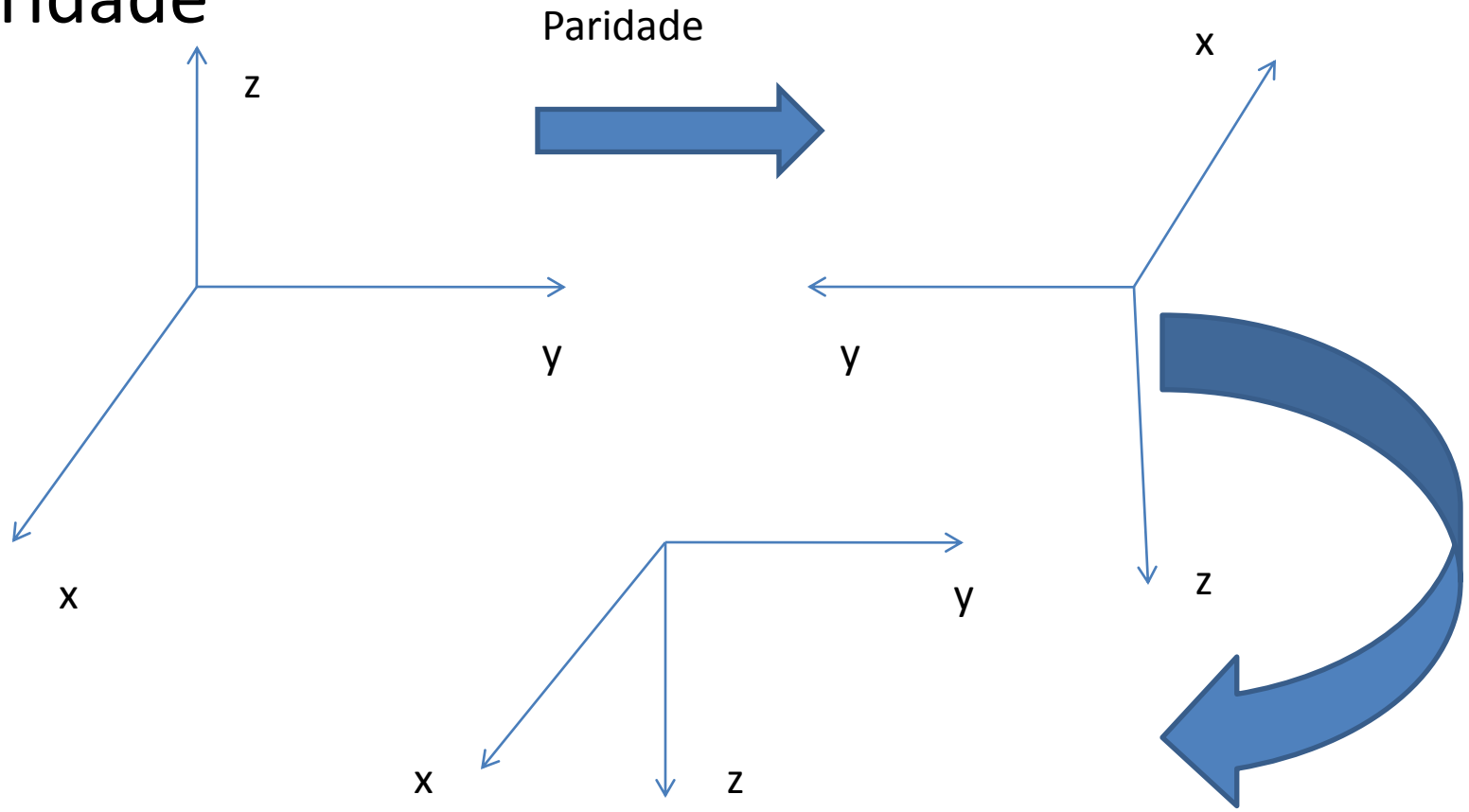
- Forte: **8 gluões**

# Simetrias em Física

- **Simetrias do Espaço x Tempo**
- **Simetrias Discretas: C P e T**
- **Simetrias Dinâmicas**

# Simetrias Discretas

- Paridade

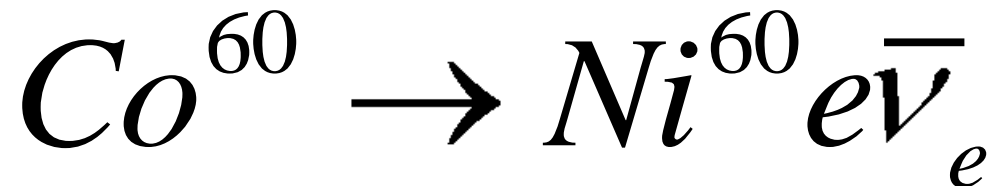


# Paridade 1

- 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

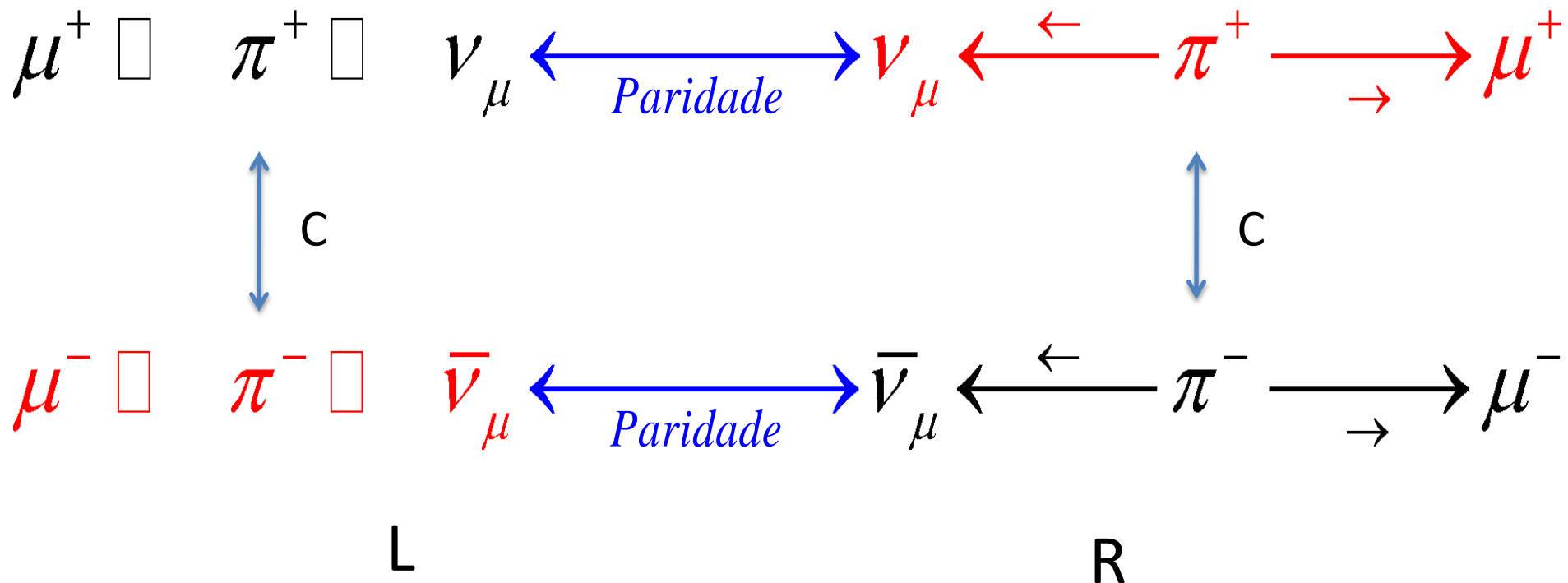
- É a operação de passagem de Partícula a anti-partícula.

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

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

- 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.

# Simetrias Dinâmicas

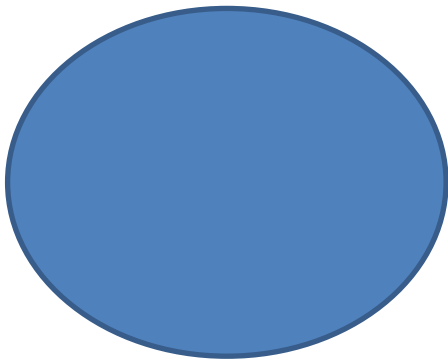
Todas as interacções Fundamentais são baseadas em leis de simetria: as chamadas simetrias de gauge.

Por vezes algumas destas leis de simetria são quebradas, i. e, não são exactas. É o que acontece coma a lei de simetria das interacções electro – fracas.

# Quebra Espontânea de Simetria Ferromagnetismo

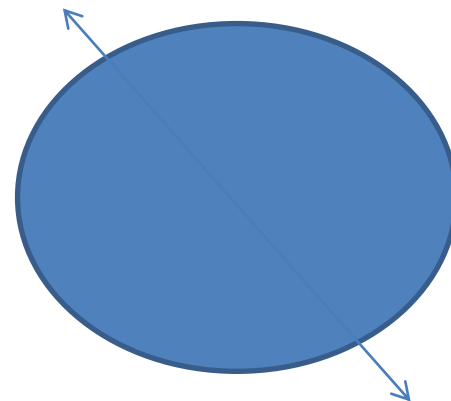
## Esfera de Ferro $T > 770 \text{ } ^\circ \text{C}$

- Invariante para rotações a 3 dimensões.  $SO(3)$
- Temperatura de Fusão  $1740 \text{ } ^\circ$



## Esfera de Ferro $T < 770 \text{ } ^\circ \text{C}$

- Agora existe um pólo Norte e um pólo Sul.
- Invariante para rotações em torno do eixo.  $SO(2)$



# A massa pode ser originada pela interacção com o meio.

- Os electrões no GRAFENO não têm massa.
- Como sabemos?
  - Porque apresentam uma relação linear entre a sua energia e o seu momento linear.

$$E = \sqrt{p^2 + m^2} = m \sqrt{1 + \frac{p^2}{m^2}} \approx m + \frac{p^2}{2m}$$

$$E = \sqrt{p^2 + m^2} = p \sqrt{1 + \frac{m^2}{p^2}} \approx p + \frac{m^2}{2p}$$

# O mesmo acontece na teoria Electro - Fraca

- Existe um campo escalar com quatro componentes,  $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4)$

- O potencial é  $V = -\alpha\rho + \lambda\rho^2$

$$\rho = \varphi_1^2 + \varphi_2^2 + \varphi_3^2 + \varphi_4^2$$

- É invariante para uma rotação no espaço dos 4 campos ( esfera a 4 dimensões).



$$V = -\alpha\rho + \lambda\rho^2$$

$$\rho = \varphi_1^2 + \varphi_2^2 + \varphi_3^2 + \varphi_4^2$$

- No início todos os campos eram nulos e portanto a energia  $V$  era nula.
- Mas, o mínimo de  $V$  é dado por :

$$V' = -\alpha + 2\lambda\rho = 0 \rightarrow \rho = \frac{\alpha}{2\lambda}$$

Neste caso a simetria é quebrada, das quatro componentes do campo uma passa a ter um valor não nulo. Portanto  $V$  já não tem a simetria de uma esfera.

$$\Phi = (0, 0, v, 0)$$

# O que é que isto tem que ver com a massa do electrão?

- Os electrões têm interacção com o campo escalar.
- Quando a simetria é quebrada e a componente  $\phi_3$  fica com valor constante  $v$ , ***esta constante é a massa do electrão!***
- ***O vácuo destas teorias não é vazio, os electrões como existem neste vácuo adquirem massa não nula.***

# FIM

