

# Introdução ao Modelo Padrão (Standard Model)

Augusto Barroso



FACULDADE · DE · CIÊNCIAS UNIVERSIDADE · DE · LISBOA

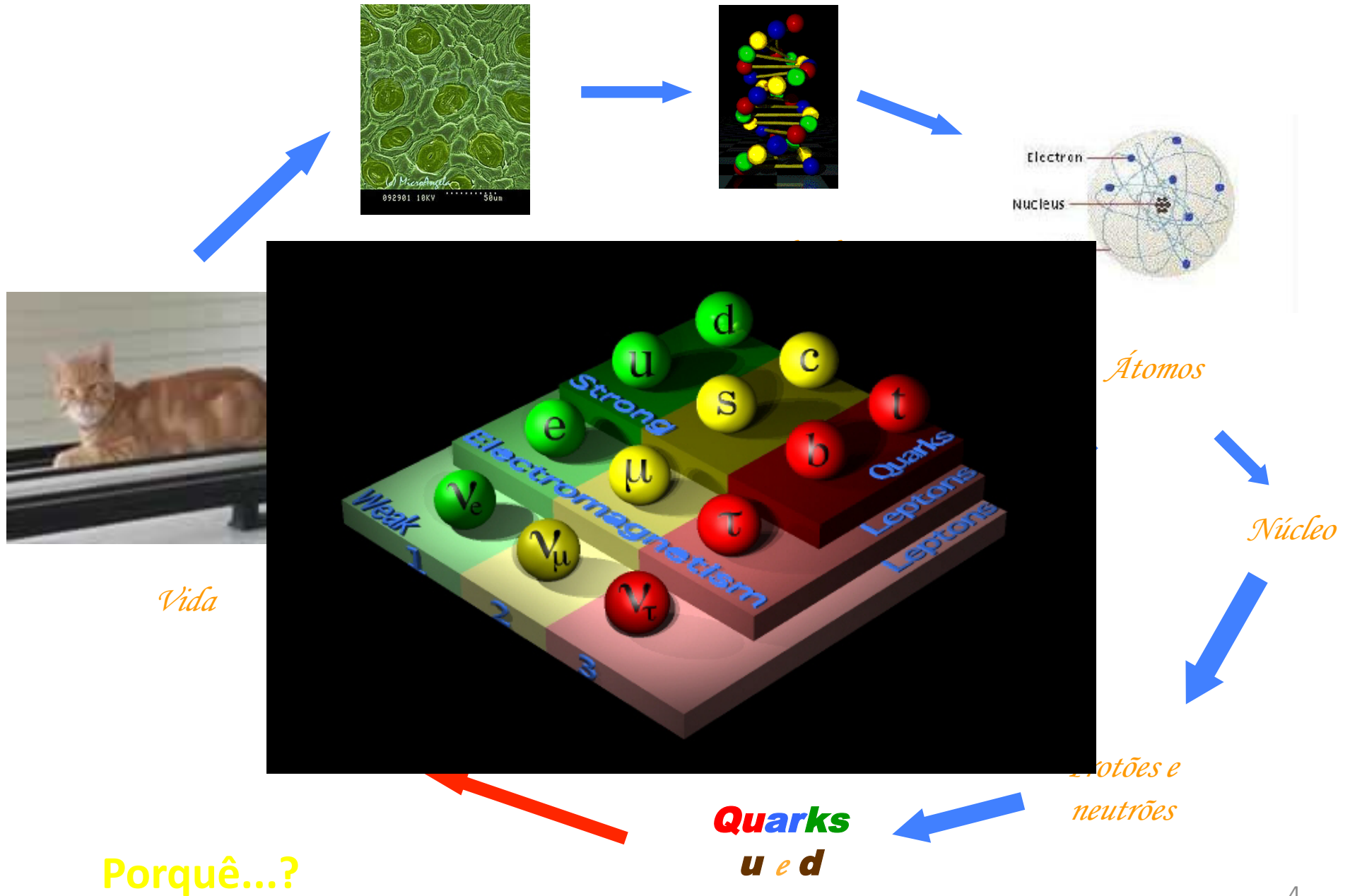
# O que é o Standard Model?



# 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**

# A corrida para o infinitamente pequeno



# Da Molécula aos Quarks

	“TAMANHO”	ENERGIA DE SEPARAÇÃO
Moléculas H <sub>2</sub> ----- DNA	(1 a 100)x10 <sup>-9</sup> m	Alguns eV
Átomos H ----- U	(1 a 10)x10 <sup>-10</sup> m	( 10 a 1000) eV
Núcleos H ----- U	(1 a 10)x10 <sup>-15</sup> m	(2 a 10)x10 <sup>6</sup> eV
Nucleões protão e neutrão	0,8x10 <sup>-15</sup> m	Infinita
Quarks u <sub>R</sub> u <sub>B</sub> u <sub>Y</sub> d <sub>R</sub> d <sub>B</sub> d <sub>Y</sub>	Pontuais	Sem constituintes

# As Interações Fundamentais

Interação	Alcance	Intensidade	Quanta	Massa	Spin
Gravítica	Infinito	$10^{-39} \text{ GeV}^{-2}$	Gravitão	0	2
Fraca	$< 10^{-18} \text{ m}$	$10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$	$W^+ W^-$ Z	81 GeV 92 GeV	1
Electro- magnética	Infinito	$10^{-2}$	Fotão	0	1
Forte	$< 10^{-15} \text{ m}$	1	8 Gluões	0	1

# Os Constituintes Básicos

- Da Matéria

- Quarks

- up
- down

- Leptões

- Electrão
- Neutrino

- Das Interacções

- Electromagnética: **Fotão**

- Fraca:  **$W^+$   $W^-$  Z**

- Forte: **8 glúões**

# O que é um ELECTRÃO?

- Massa  $9 \times 10^{-31} \text{ kg} = 511 \text{ keV}/c^2$
- Carga  $- 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Spin  $1/2 \times 6,6 \times 10^{-22} \text{ MeV s}$
- Momento Magnético  
 $5,8 \times 10^{-11} \text{ MeV T}^{-1}$



# Leptões e Quarks

## 1ª Família

Nome	Carga Eléctrica	Spin	Massa	Cor
$\nu_e$	0	1/2	< 1 eV	Não tem
e	- 1		511 keV	Não tem
$u_R$	2/3	1/2	4 MeV	Vermelho
$u_B$				Azul
$u_Y$				Amarelo
$d_R$	- 1/3	1/2	7 MeV	Vermelho
$d_B$				Azul
$d_Y$				Amarelo

# Leptões e Quarks

## 2ª Família

Nome	Carga Eléctrica	Spin	Massa	Cor
$\nu_{\mu}$	0	1/2	$< 0,3 \text{ MeV}$	Não tem
$\mu$	- 1		$107 \text{ MeV}$	Não tem
$c_R$ $c_B$ $c_Y$	2/3	1/2	1,5 GeV	Vermelho Azul Amarelo
$s_R$ $s_B$ $s_Y$				- 1/3

# Leptões e Quarks

## 3ª Família

Nome	Carga Eléctrica	Spin	Massa	Cor
$\nu_\tau$	0	1/2	< 35 MeV	Não tem
$\tau$	- 1		1,78 GeV	Não tem
$t_R$	2/3	1/2	175 GeV	Vermelho
$t_B$				Azul
$t_Y$				Amarelo
$b_R$	- 1/3	1/2	4,7 GeV	Vermelho
$b_B$				Azul
$b_Y$				Amarelo

# 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

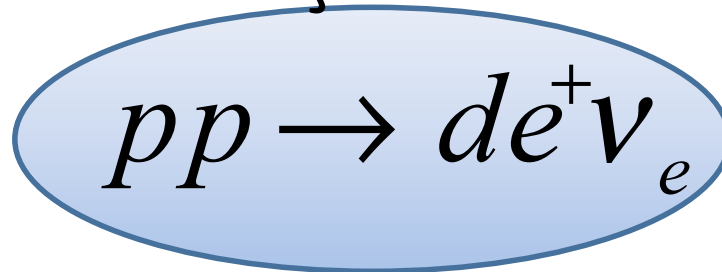
- O Protão e o Electrão são estáveis
- Os Mesões e os Leptões carregados das outras famílias decaem em virtude da interacção fraca



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



- 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 cm<sup>2</sup> e por segundo.**

# Unidades

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} = \frac{1}{137}$$

- Fazemos  $c = 1$   $\longrightarrow$   $[t] = [x] = L$   
 $[E] = [p_x] = [m]$
- Fazemos  $\hbar = 1$   $\longrightarrow$   $[E] = [t^{-1}] = L^{-1}$

# FIM

