

Mecânica

Newton

Electro-magnetismo

Maxwell

Teoria Cinética, Termodinâmica

Boltzmann

Partículas

Interações

Detectores / Aceleradores

Universo (Raios Cósmiticos e Cosmologia)

1895

$e^-$

Electromagnético Fraco Forte

Electroscópio

1900

Movimento Browniano

Fotão

Radio-actividade

1905

Átomo

Relatividade Restrita

Contador Geiger

1910

Núcleo

Mecânica Quântia Onda/Corpúsculo Fermiões / Bosões

Câmara de Nuvens

Raios Cósmiticos

1920

$p^+$

1930

$e^+$

$n$

Dirac Antimatéria

Decaimento Beta (Fermi)

Yukawa Troca  $\pi$

Ciclotrão

Relatividade Geral

1940

$\mu^-$

Circuito de Coincidências

Matéria Escura Chuveiros de Partículas

1950

$\tau^-$

**Zoo Partículas** 6

$\pi$

$u$   $d$   $s$

$c$

**MODELO PADRÃO**

QED

Violação P, C, CP

Sincrotrão Câmara de Bolhas

1960

$\nu_e$

Bosões W Unificação E-F

7

Colisão  $e^+e^-$  Câmaras de Fios

R.C. Energias Extremas

1970

$\nu_\mu$

Higgs GUT SUSY Supercordas

$W$   $Z$   $g$

Côr QCD

3 famílias

Computadores em Aquisição de Dados

Arrefecimento Estocástico

1975

$\tau^-$

Detectores Modernos

Colisão  $p^+p^-$  SPS

1980

$\nu_\tau$

$b$

1990

$t$

WWW

LEP

Expansão ACELERADA do Universo / Energia Escura

2000

massa  $\nu$

GRID

GZK + Anisotropia

2010

$h^0$

LHC

Jardim  
Zoológico

Com novos aceleradores e detectores,  
o "Zoo das Partículas" tem mais de  $\sim 200$  'partículas elementares'

HADRÕES

$\pi^+ \pi^- \pi^0$

Pions

$K^+ K^- K^0$

$\eta'$

Kaons

Eta-Prime

$\eta$

Eta

$\phi$

Phi

$\rho^+ \rho^- \rho^0$

Rho

MESÕES

$\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^0, \Delta^-$

Delta

$\Lambda^0$

$\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$

Lambda (estranho!)

Sigma (estranho!)

$\Xi^0, \Xi^-$

Sigma(muito estranho!)

BARIÕES

Qual seria a estrutura de base, a 'nova tabela periódica' ?

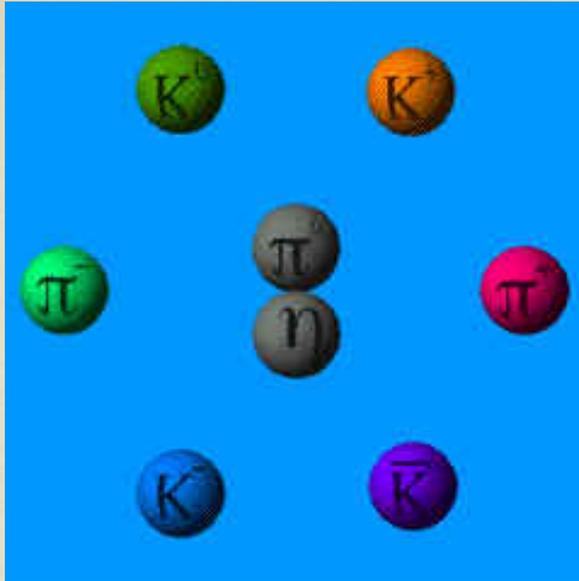
# PARTÍCULAS

*The Eightfold Way* (1963)

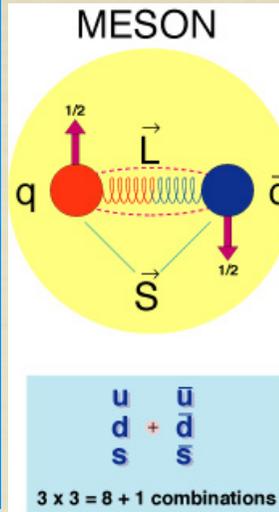


Fig. 6.35 Murray Gell-Mann (b.1929).

Gell-Mann, 1963  
(G. Zweig, 1963, CERN)



## SU(3)-Classificação baseada em QUARKS



+2/3 e    -1/3 e    -1/3 e

3 tipos de “quarks” : up, down, estranho

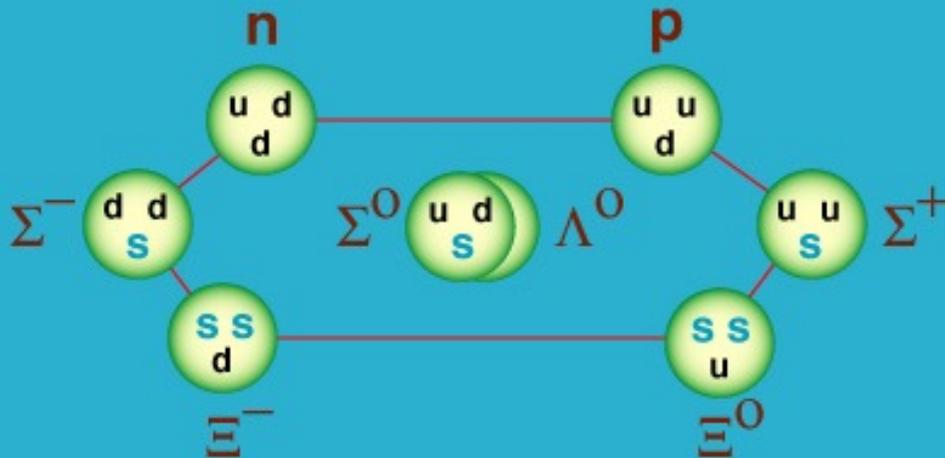
Aparecem **apenas** nas combinações:

Mesão = quark+antiquark

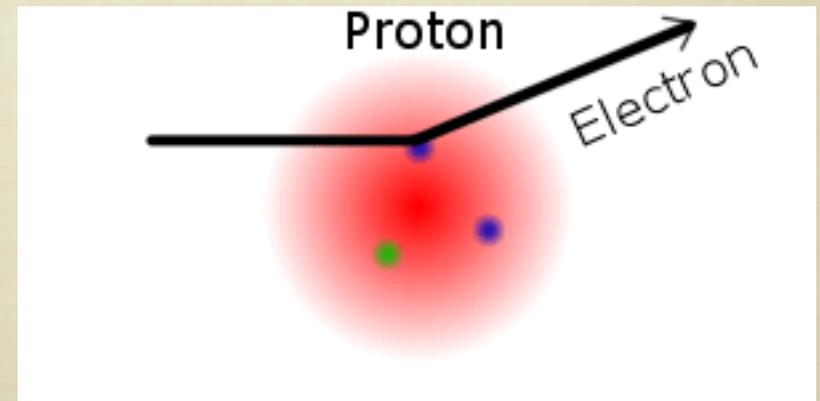
Barião = quark1 + quark2 + quark3

## SPIN 1/2 BARYON OCTET

Protão, Neutrão; Lambda, Sigma's, Xi's



1967 Friedmann, Kendall, Taylor (SLAC):  
‘difusão inelástica profunda’ de  
electrões em 3 ‘partículas pontuais’

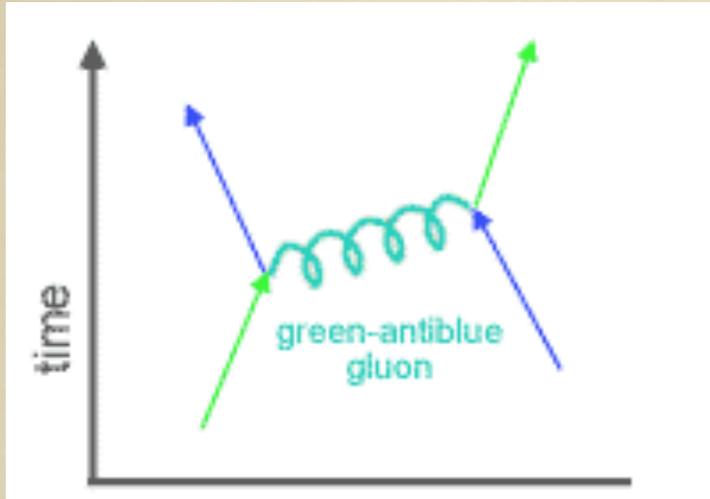
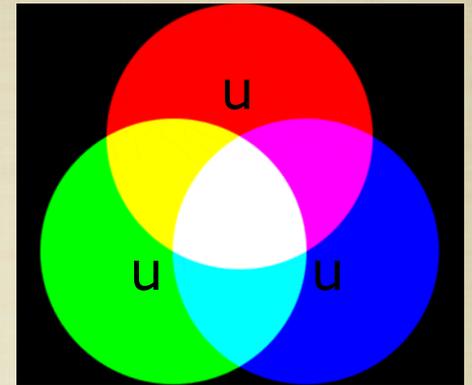


Mas e o  $\Delta^{++}$  ?! uuu??!!

# PARTÍCULAS

1973

## Carga de côr



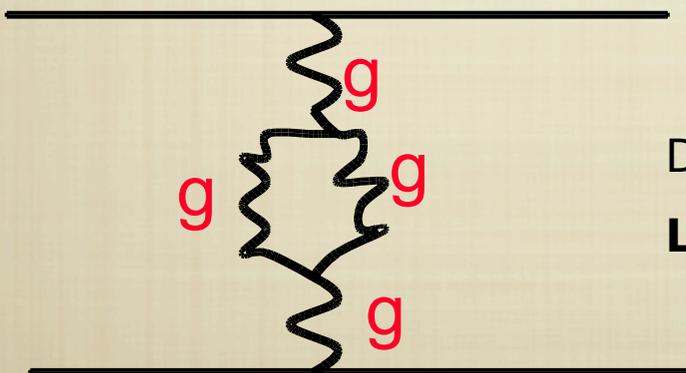
## Gluões

Gluões são os portadores da interacção forte

Há  $3 \times 3 - 1 = 8$  gluões

Gluões têm carga de côr  $\rightarrow$  auto-interacção

## Auto-interacção dos gluões

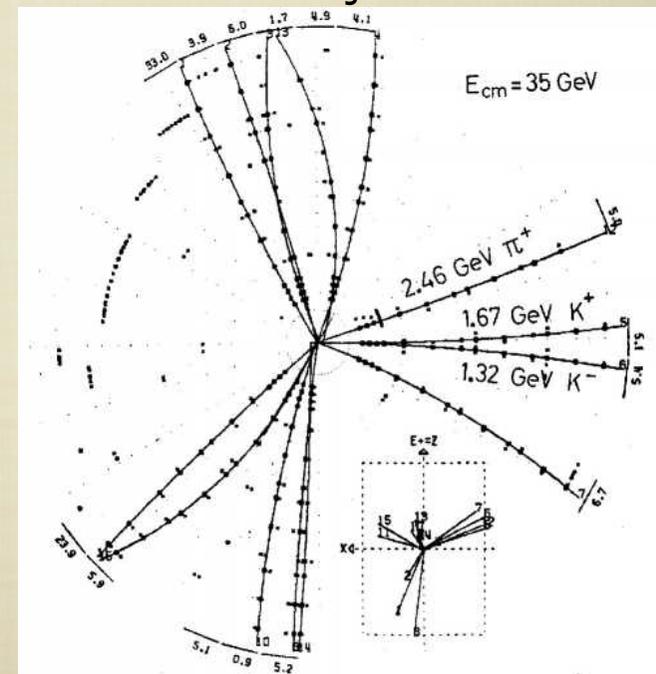


$$V_{QCD} = -\frac{4}{3} \frac{\alpha_s}{r} + kr$$

Distâncias pequenas:

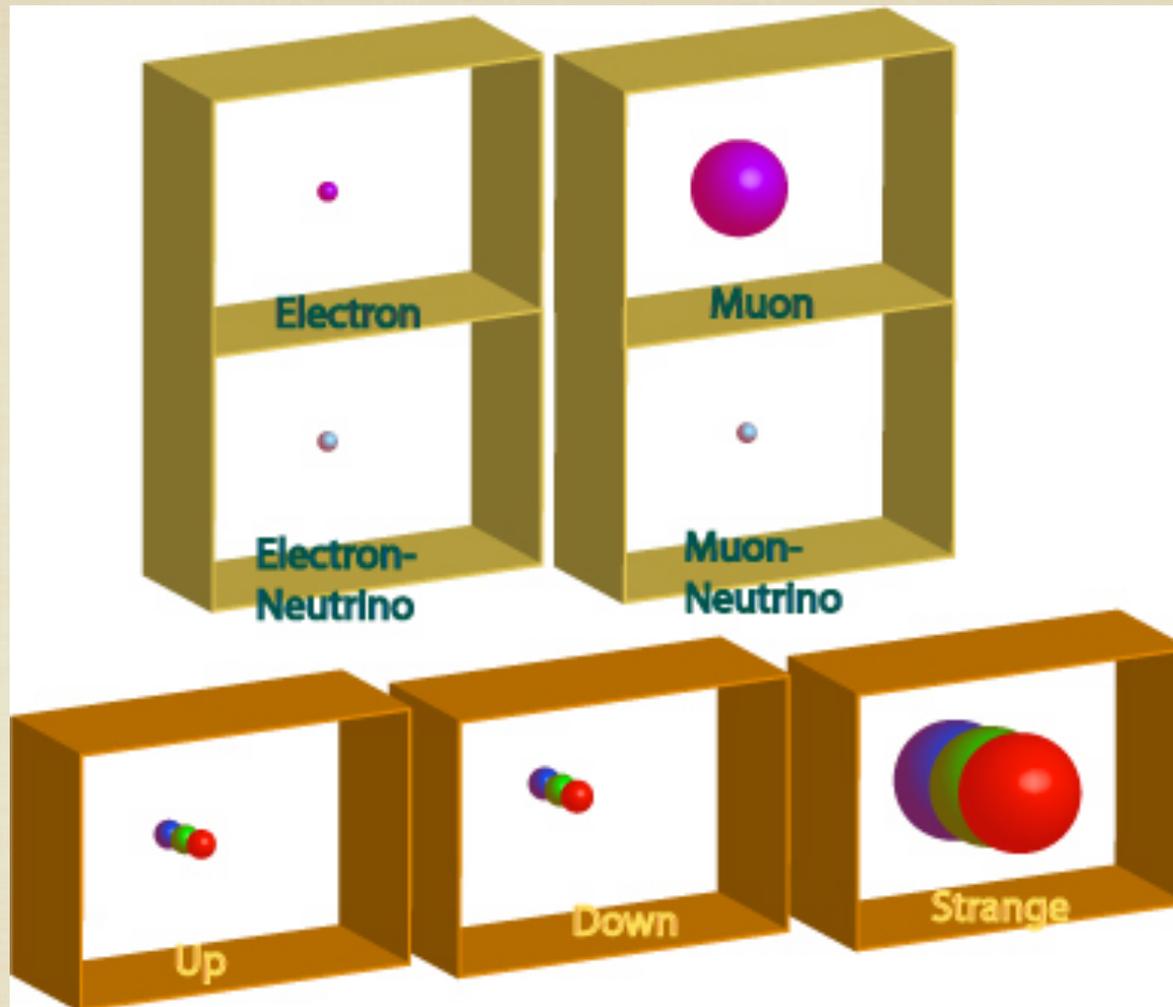
## Liberdade Assimptótica

Quarks/Gluões não podem andar sós!



PETRA Storage Ring, 1979, DESY

LEPTÕES



QUARKS

Constroem  
os hadrões

**Que Ligação?**

**Chave: 'interacção electrofraca' e o 'sabor' das partículas**

# 7

## Electrofraca

# Interaçções

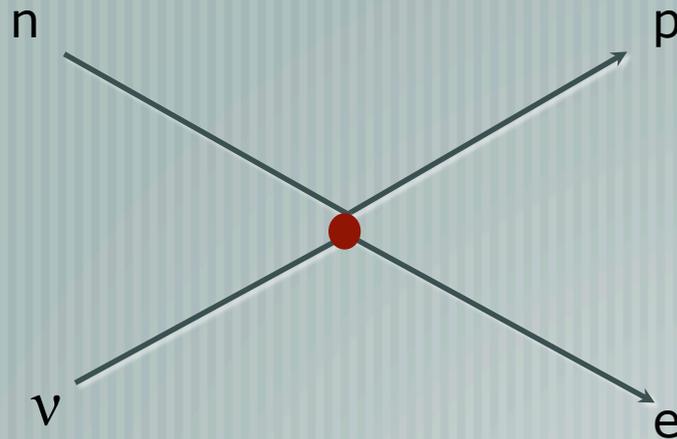
1958 Glashow

**Havia um pequeno problema (teórico):**

Probabilidade Neutrino-Protão  $\sim (G_F E_V)$   
viola Princípio da Unitaridade\* para  $E > 300 \text{ GeV}$

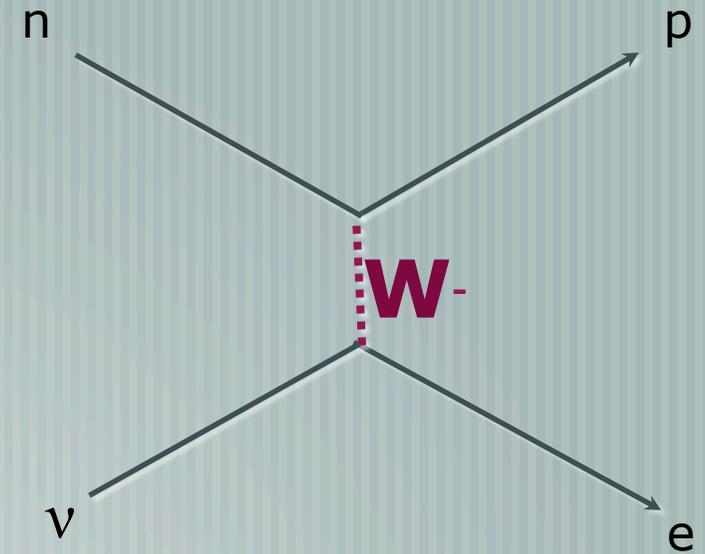
(\*probabilidade da interacção  $> 100\%$ )

$$G_F = (1/294 \text{ GeV})^2$$



Modelo de Fermi

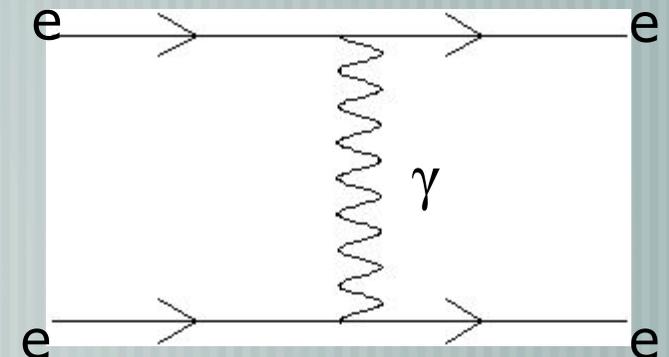
**Ideia**



Modelo Glashow

**Interação Fraca mediada por Bosões Massivos  
(analogia com a troca do fóton!)**

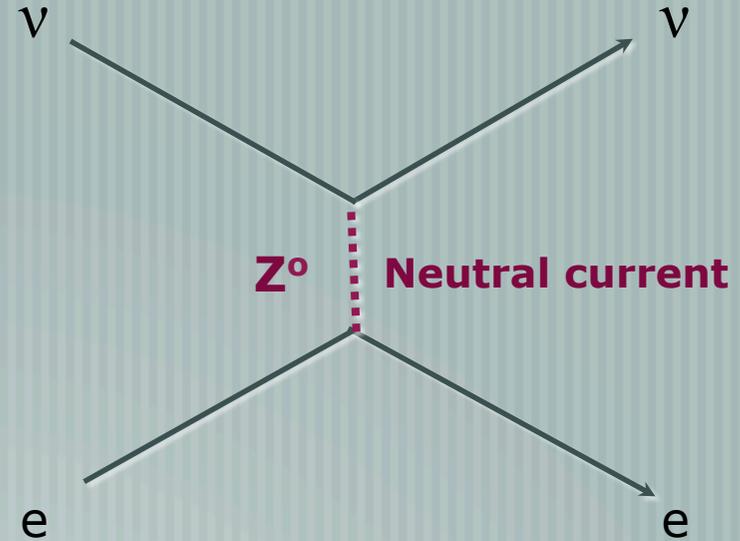
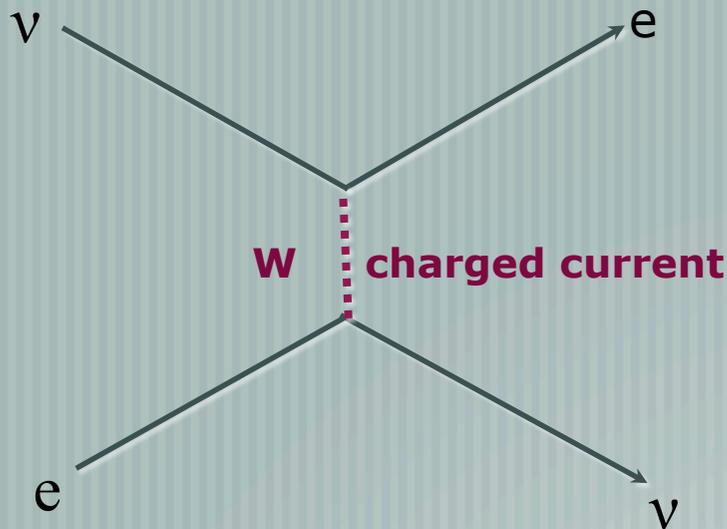
**Grande massa (80 GeV) explica  
curto alcance ( $2 \cdot 10^{-18} \text{ m}$ ) e baixas probabilidades**



# Interacções

Electrofraca

1968



## Glashow, Salam, Weinberg (1968) – Força Electrofraca

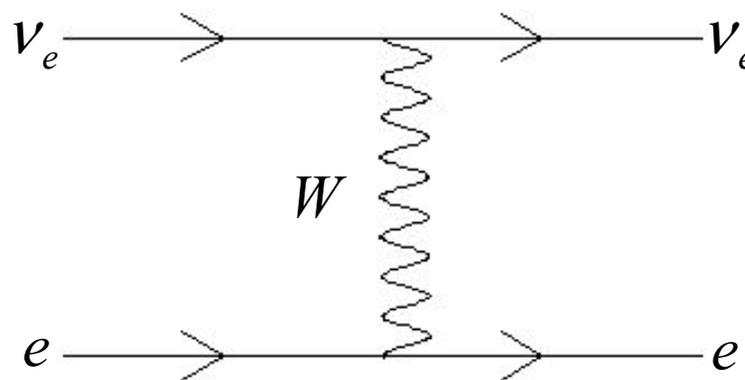
- As interacções electromagnética e fraca são dois aspectos da mesma força 'electrofraca'
- Todos os quarks e os leptões têm uma carga 'fraca'
- Devia haver um 'fotão massivo' ( $Z^0$ ) e 2 bosões carregados ( $W^\pm$ ) de massas  $\sim 50-100$  GeV
- Estes recebem a sua massa apenas devido a um nova "Interacção de Higgs" H.
- Só havia interacções fracas carregadas com partículas 'esquerdas' !

# Probabilidades infinitas ?

Na ordem mais baixa,  $\sigma(\nu_e e \rightarrow \nu_e e) = \frac{G^2 s}{\pi} \xrightarrow{s \rightarrow \infty} \infty$

Mas se considerarmos um bóson massivo:

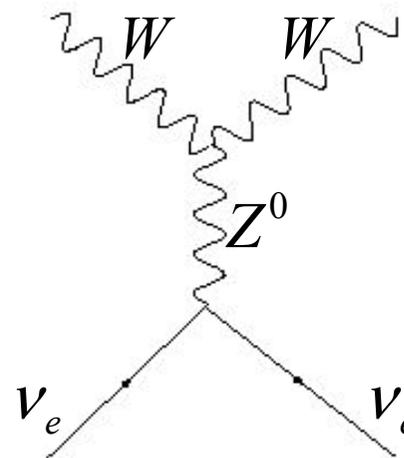
$$\sigma(\nu_e e \rightarrow \nu_e e) = \frac{G^2 M_W^2}{\pi}$$



Mas agora também podemos ter:

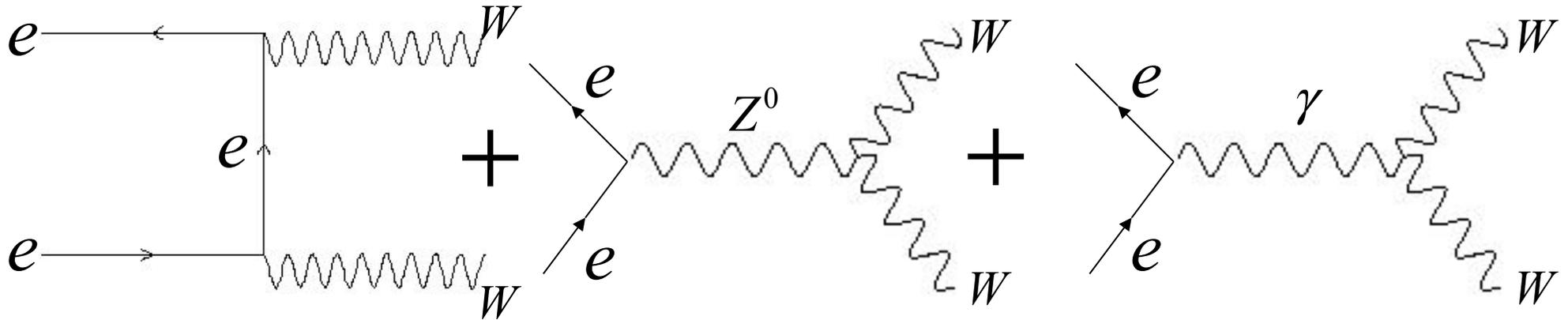
$$\sigma \left[ \begin{array}{c} \text{Diagram with } W \text{ exchange} \\ \text{Diagram with } Z^0 \text{ exchange} \end{array} \right] = \frac{G^2 s}{3\pi}$$

Divergência cancelada por:

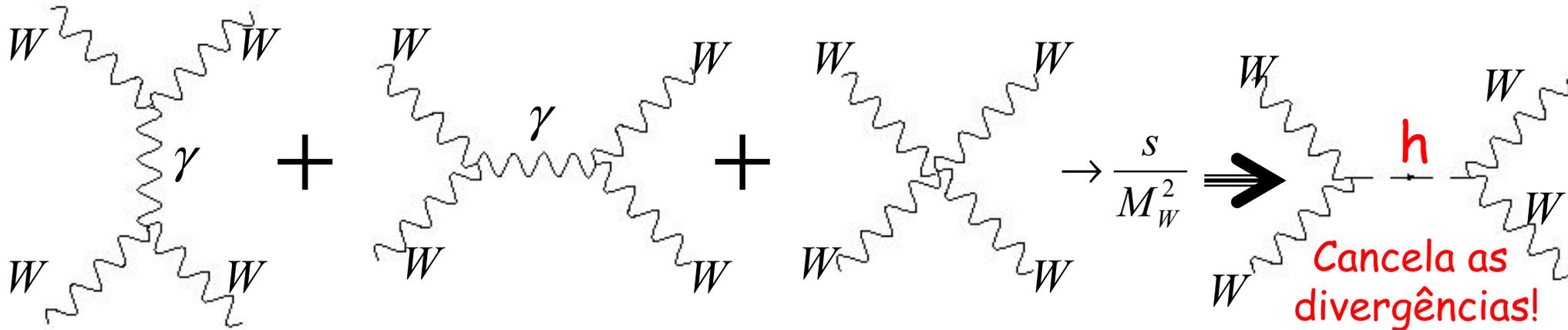


# ... justificadas pelo Bosão de Higgs

Finalmente, podemos ter:  $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$



Divergentes, mas soma finita! E com  $WW \rightarrow WW$ ?

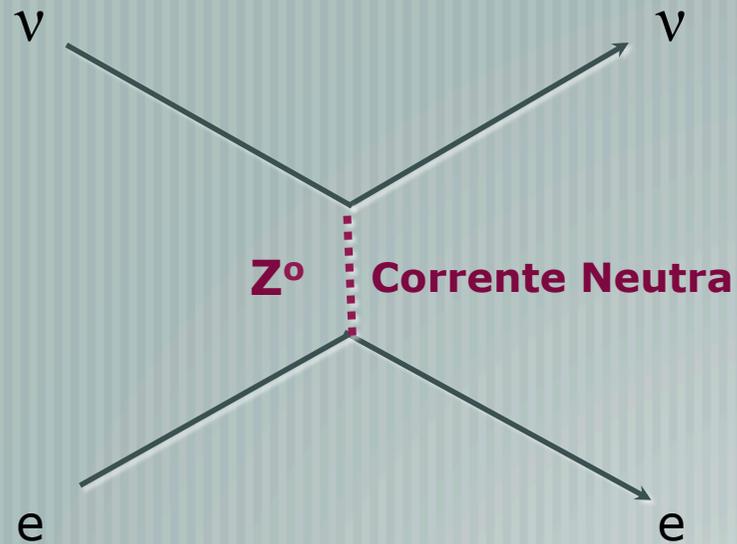


# Interações

Electrofraca

1973

## Descoberta das correntes neutras no CERN:



- Feixe de neutrinos dirigido a uma câmara de bolhas
- Um traço de um electrão surge do 'nada'

Nuclear Physics B73 (1974) 1–22 North-Holland Publishing Company

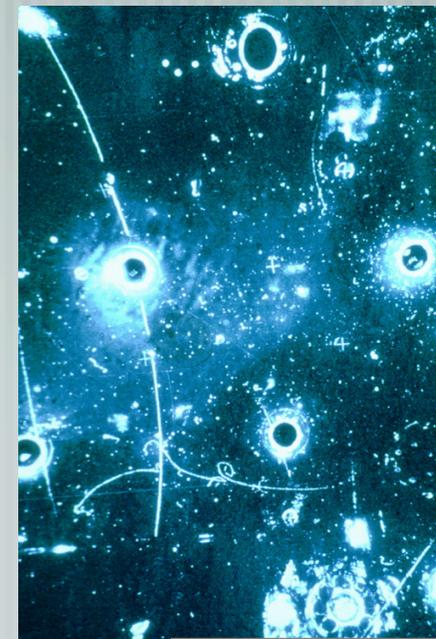
### OBSERVATION OF NEUTRINO-LIKE INTERACTIONS WITHOUT MUON OR ELECTRON IN THE GARGAMELLE NEUTRINO EXPERIMENT

F.J. HASERT, S. KABE, W. KRENZ, J. VON KROGH, D. LANSKE, J. MORFIN, K. SCHULTZE and H. WEERTS  
*III. Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, Aachen, Germany*

G. BERTRAND-COREMANS, J. SACTON, W. VAN DONINCK and P. VILAIN\*  
*Interuniversity Institute for High Energies, U.L.B., V.U.B., Brussels, Belgium*

R. BALDI, U. CAMERINI\*\*, D.C. CUNDY, I. DANILCHENKO\*\*\*, W.F. FRY\*\*  
D. HAIDT, S. NATALI<sup>†</sup>, P. MUSSET, B. OSCULATI, R. PALMER<sup>††</sup>,  
J.B.M. PATTISON, D.H. PERKINS<sup>†</sup>, A. PULLIA, A. ROUSSET,  
W. VENUS<sup>††</sup> and H. WACHSMUTH  
*CERN, Geneva, Switzerland*

V. BRISSON, B. DEGRANGE, M. HAGUENAUER, L. KLUBERG,  
U. Nguyen-KHAC and P. PETIAU  
*Laboratoire de Physique Nucleaire des Hautes Energies, Ecole Polytechnique, Paris France*



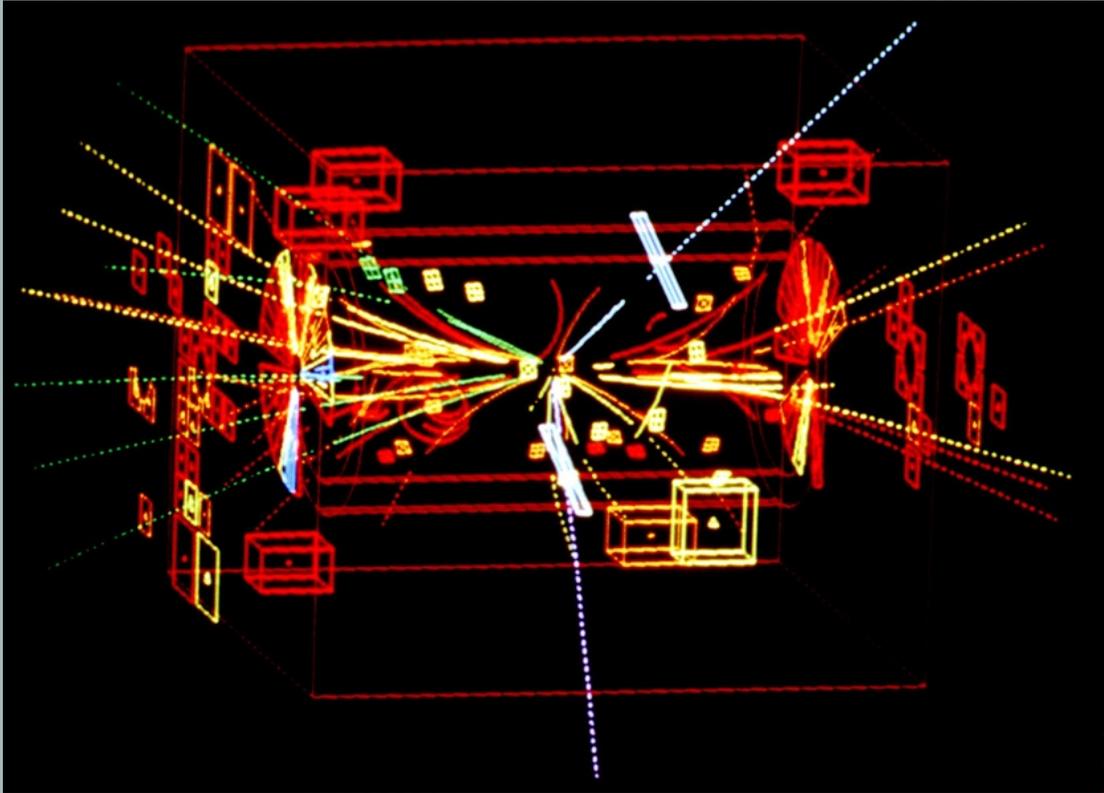
# Interacções

Electrofraca

1983

## Descoberta dos Bosões W, Z no CERN (1983)

(Carlo Rubbia – Responsável pela Colaboração UA1, e proponente do collisionador protão-antiprotão SpS)  
(Simon van der Meer - inventor do arrefecimento estocástico do feixe de anti-protões)



## Artigo de Referência (Glashow, Iliopoulos, Maiani)

PHYSICAL REVIEW D

VOLUME 2, NUMBER 7

1 OCTOBER 1970

**Weak Interactions with Lepton-Hadron Symmetry\***

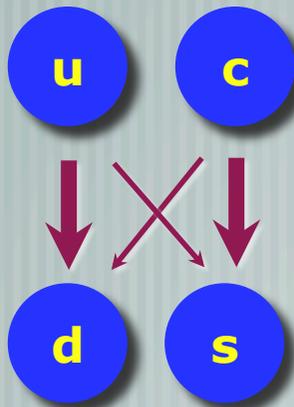
S. L. GLASHOW, J. ILIOPOULOS, AND L. MAIANI†

*Lyman Laboratory of Physics, Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02139*

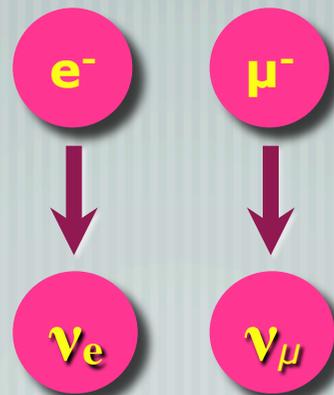
(Received 5 March 1970)

We propose a model of weak interactions in which the currents are constructed out of four basic quark fields and interact with a charged massive vector boson. We show, to all orders in perturbation theory, that the leading divergences do not violate any strong-interaction symmetry and the next to the leading divergences respect all observed weak-interaction selection rules. The model features a remarkable symmetry between leptons and quarks. The extension of our model to a complete Yang-Mills theory is discussed.

## Quarks



## Leptons

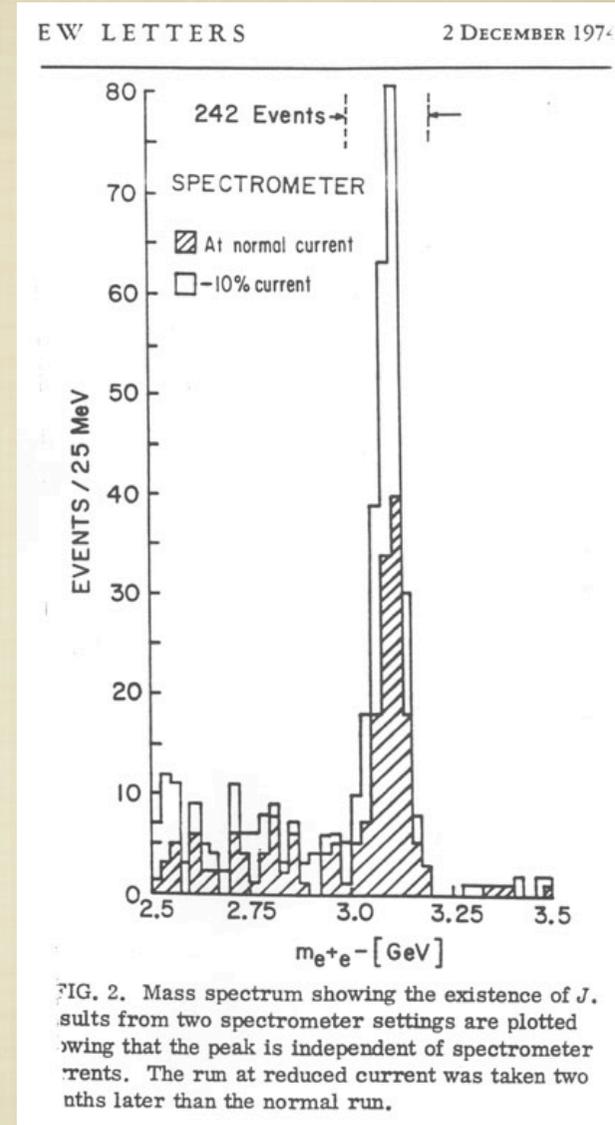
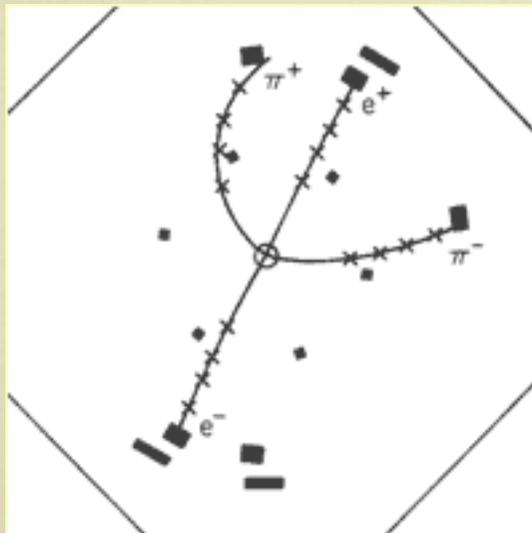


*'Standard Model'  
(com duas famílias)*

E o quark *c* (*charm* – encanto) foi descoberto pouco depois :

## A REVOLUÇÃO DE NOVEMBRO (11 Novembro 1974)

Dois grupos descobriram ~ simultaneamente uma nova partícula, denominada '**Psi**' em SLAC (Burton Richter) e '**J**' em Brookhaven (Samuel J. Ting).



A ressonância *J*/*psi* era 'vida-longa' ( $\sim 10^{-20}$  sec). Só podia decair através da interacção fraca, preferencialmente em quarks estranhos. Daí o estreito pico.

Mecânica

Newton

Electro-magnetismo

Maxwell

Teoria Cinética, Termodinâmica

Boltzmann

### Partículas

### Interações

### Detectores / Aceleradores

### Universo (Raios Cósmicos e Cosmologia)

1895

$e^-$

Electromagnético Fraco Forte

Electroscópio

1900

Movimento Browniano

Fotão

Radio-actividade

1905

Átomo

Relatividade Restrita

Contador Geiger

1910

Núcleo

Câmara de Nuvens

Raios Cósmicos

1920

$p^+$

Mecânica Quântica Onda/Corpúsculo Fermiões / Bosões

Relatividade Geral

1930

$e^+$

$n$

Dirac Antimatéria

Decaimento Beta (Fermi)

Yukawa Troca  $\pi$

Ciclotrão

Matéria Escura

1940

$\mu^-$

Circuito de Coincidências

Chuveiros de Partículas

1950

$\tau^-$

$p^-$

Zoo Partículas

QED

Violação P, C, CP

Sincrotrão

Câmara de Bolhas

1960

$\nu_e$

$u$   $d$   $s$

Higgs

Bosões W

Colisão  $e^+e^-$

Câmaras de Fios

R.C. Energias Extremas

1970

$\nu_\mu$

$c$

GUT

Unificação E-F

Côr QCD

Computadores em Aquisição de Dados

Arrefecimento Estocástico

1975

$\tau^-$

MODELO PADRAO

$b$

SUSY

$g$

Detecores Modernos

Colisão  $p^+p^-$  SPS

1980

$\nu_\tau$

$W$

$Z$

Expansão ACELERADA do Universo / Energia Escura

1990

$t$

3 famílias

WWW

LEP

2000

massa  $\nu$

8

GRID

GZK + Anisotropia

2010

$h^0$

9

LHC

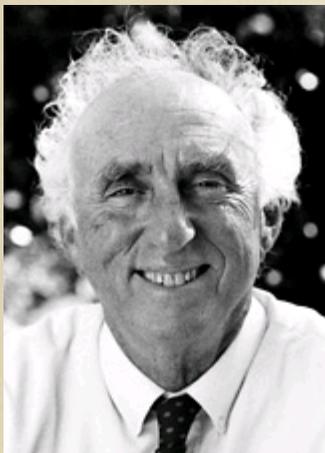
# PARTÍCULAS

Leptões

1975

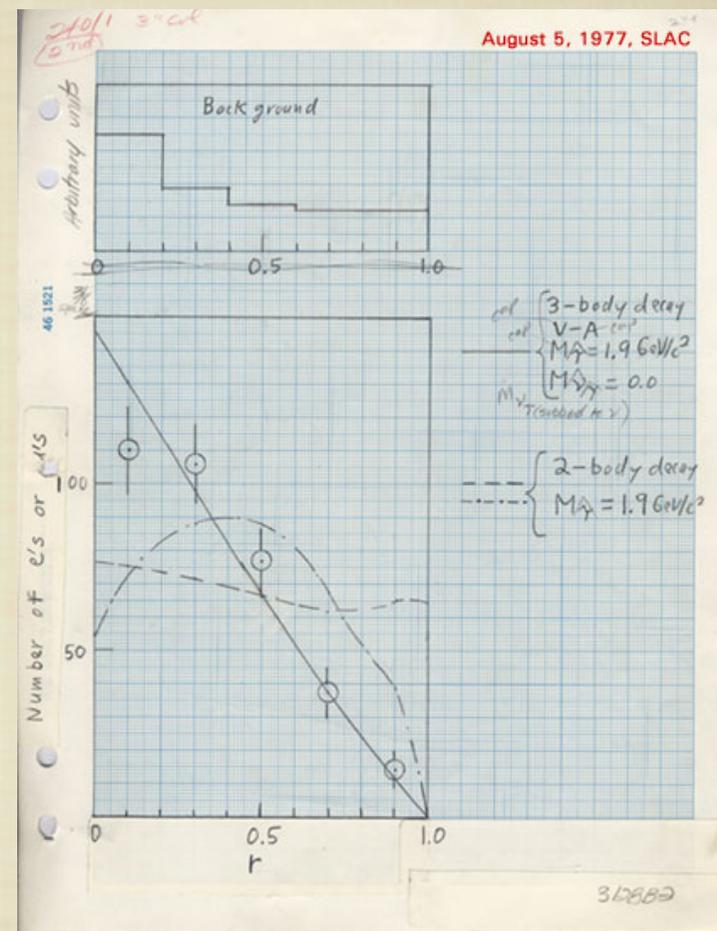
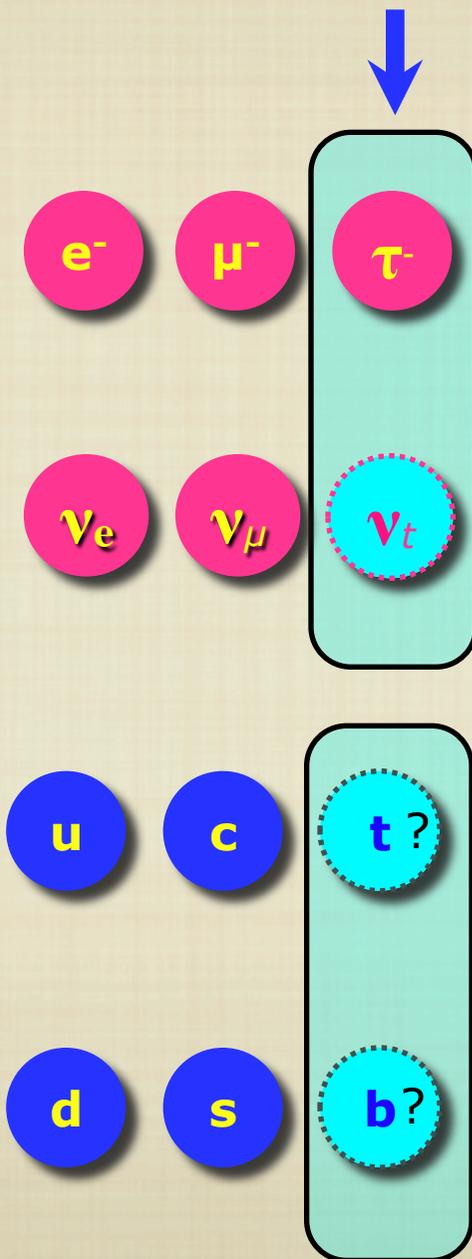
Descoberta do Tau (massa = 3500  $m_e$ )

SLAC (Martin Perl)



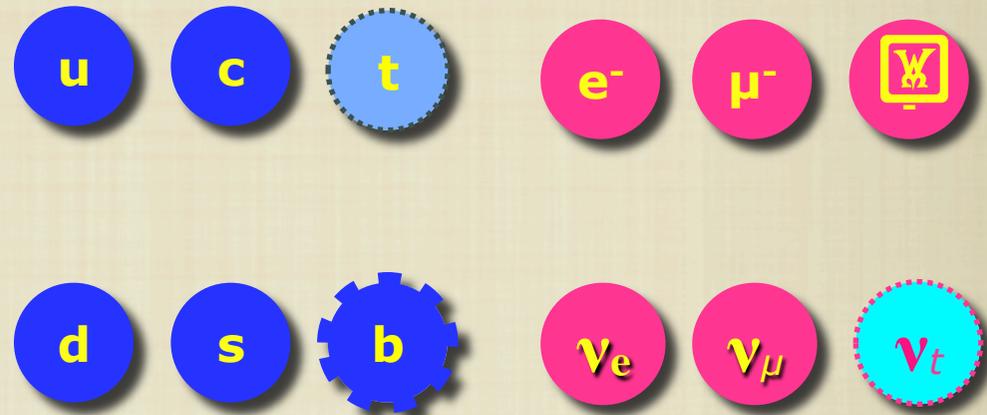
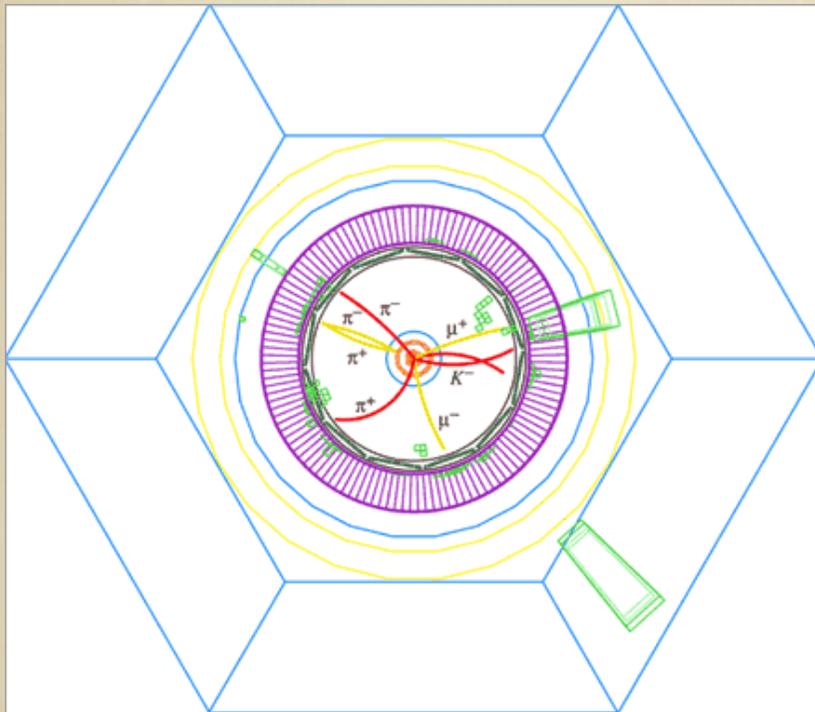
Prémio Nobel 1995

Então e no sector dos quarks?



Diário do Martin Perl

## Descoberta do Quark 'Bottom' (Fermilab)



Quarks

Leptons

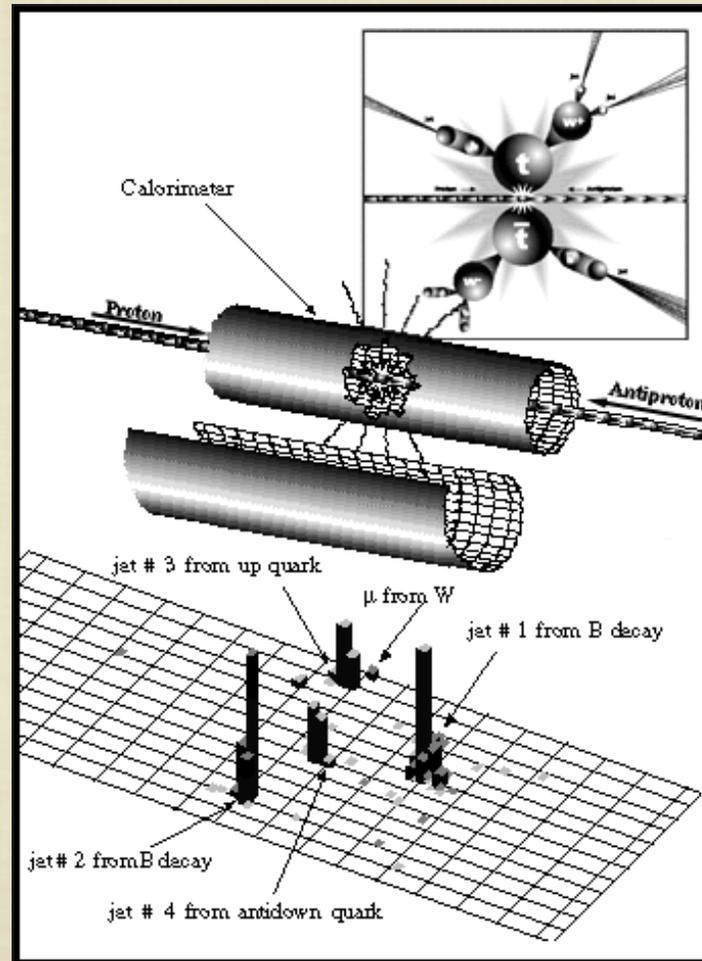
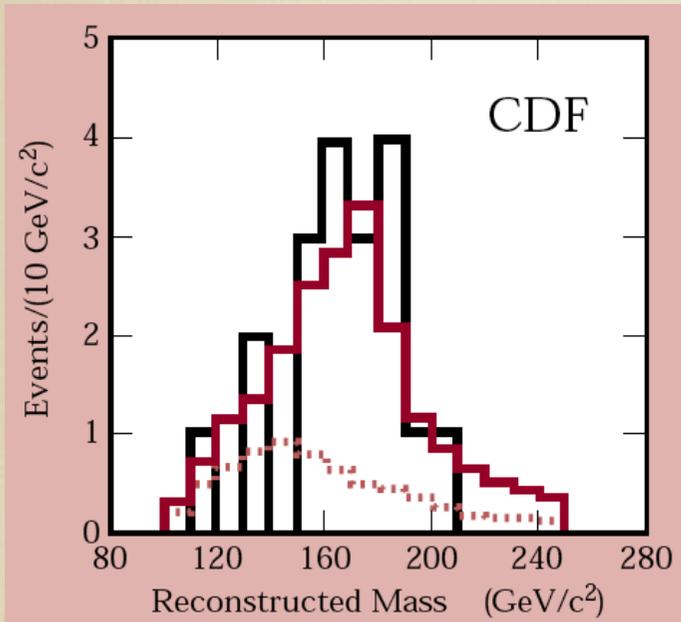
Em 1977 os físicos descobriram no Fermilab a partícula Upsilon = mesão com quark b e antiquark b.

O quark b tem carga  $-1/3$  e uma massa aproximada de 4,5 GeV.



Quarks

### Descoberta do Quark 'Top' (Fermilab)



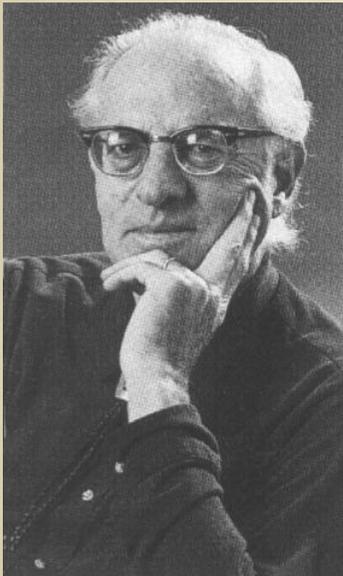
## A História dos Neutrinos

### Descoberta do neutrino do electrão



Reactores Nucleares são uma grande fonte de anti-neutrinos

Coincidência dos sinais de captura do n e aniquilação positrão



Fred Reines



Jack Steinberger, 1962

## Neutrino do “Muão”

Existem 2 tipos de neutrinos: tipo electrão e tipo muão

### OBSERVATION OF HIGH-ENERGY NEUTRINO REACTIONS AND THE EXISTENCE OF TWO KINDS OF NEUTRINOS\*

G. Danby, J-M. Gaillard, K. Goulianos, L. M. Lederman, N. Mistry, M. Schwartz,<sup>†</sup> and J. Steinberger<sup>†</sup>

Columbia University, New York, New York and Brookhaven National Laboratory, Upton, New York

(Received June 15, 1962)

In the course of an experiment at the Brookhaven AGS, we have observed the interaction of high-energy neutrinos with matter. These neutrinos were produced primarily as the result of the decay of the pion:

$$\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + (\nu/\bar{\nu}). \quad (1)$$

It is the purpose of this Letter to report some of the results of this experiment including (1) demonstration that the neutrinos we have used pro-

duce  $\mu$  mesons but do not produce electrons, and hence are very likely different from the neutrinos involved in  $\beta$  decay and (2) approximate cross sections.

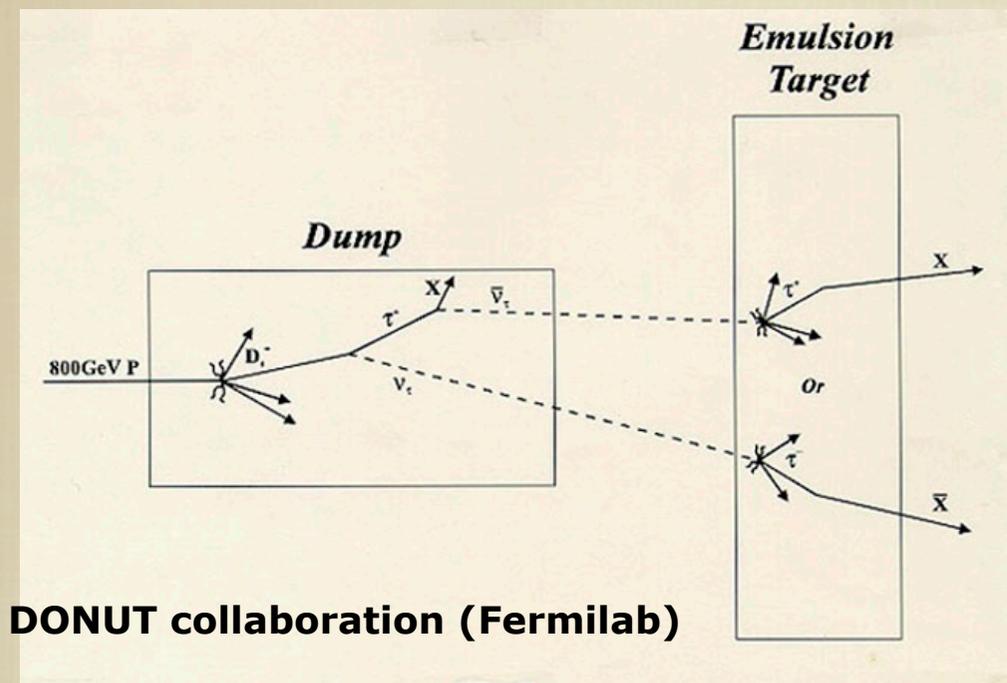
Behavior of cross section as a function of energy. The Fermi theory of weak interactions which works well at low energies implies a cross section for weak interactions which increases as phase space. Calculation indicates that weak interacting cross sections should be in the neigh-



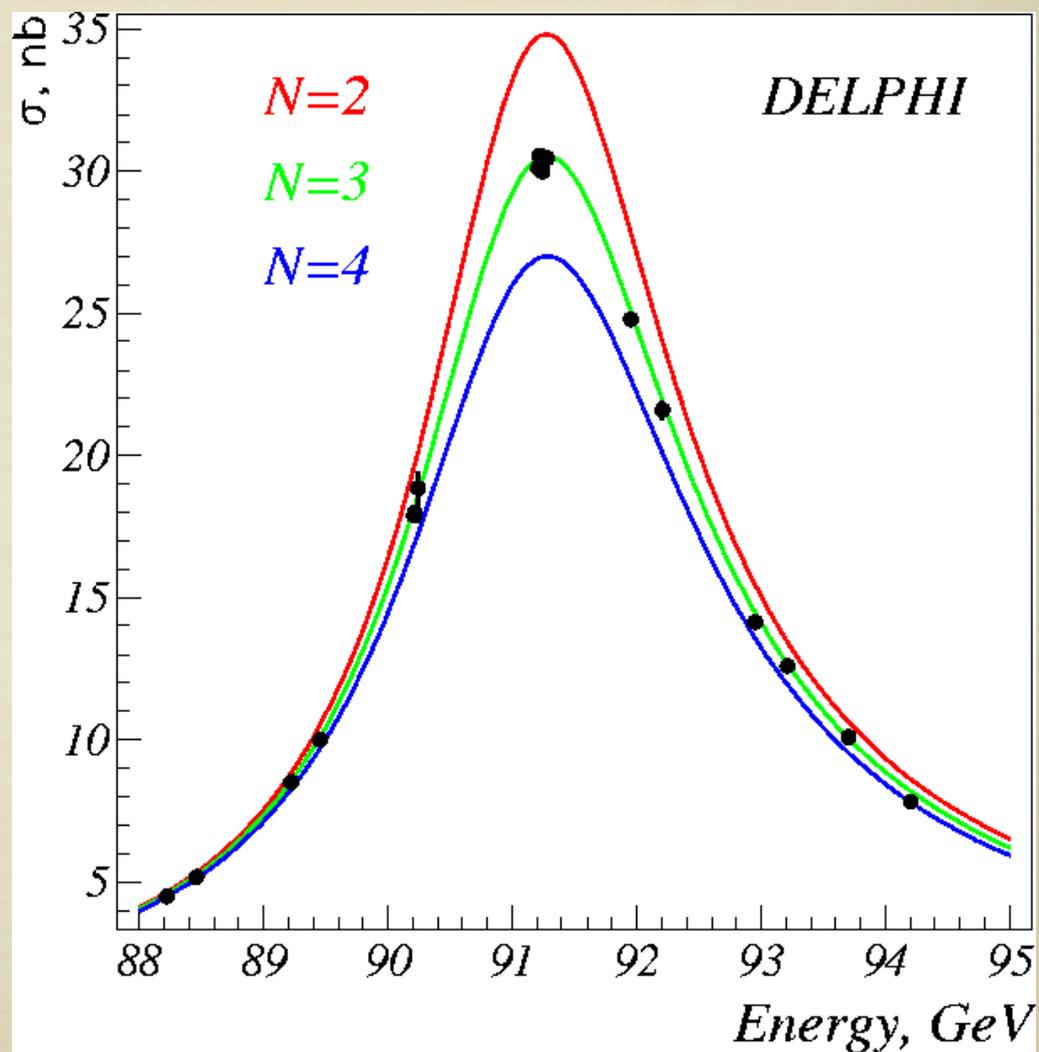
Jack Steinberger, HST 2002

**Os neutrinos têm massa? Podem oscilar ?**

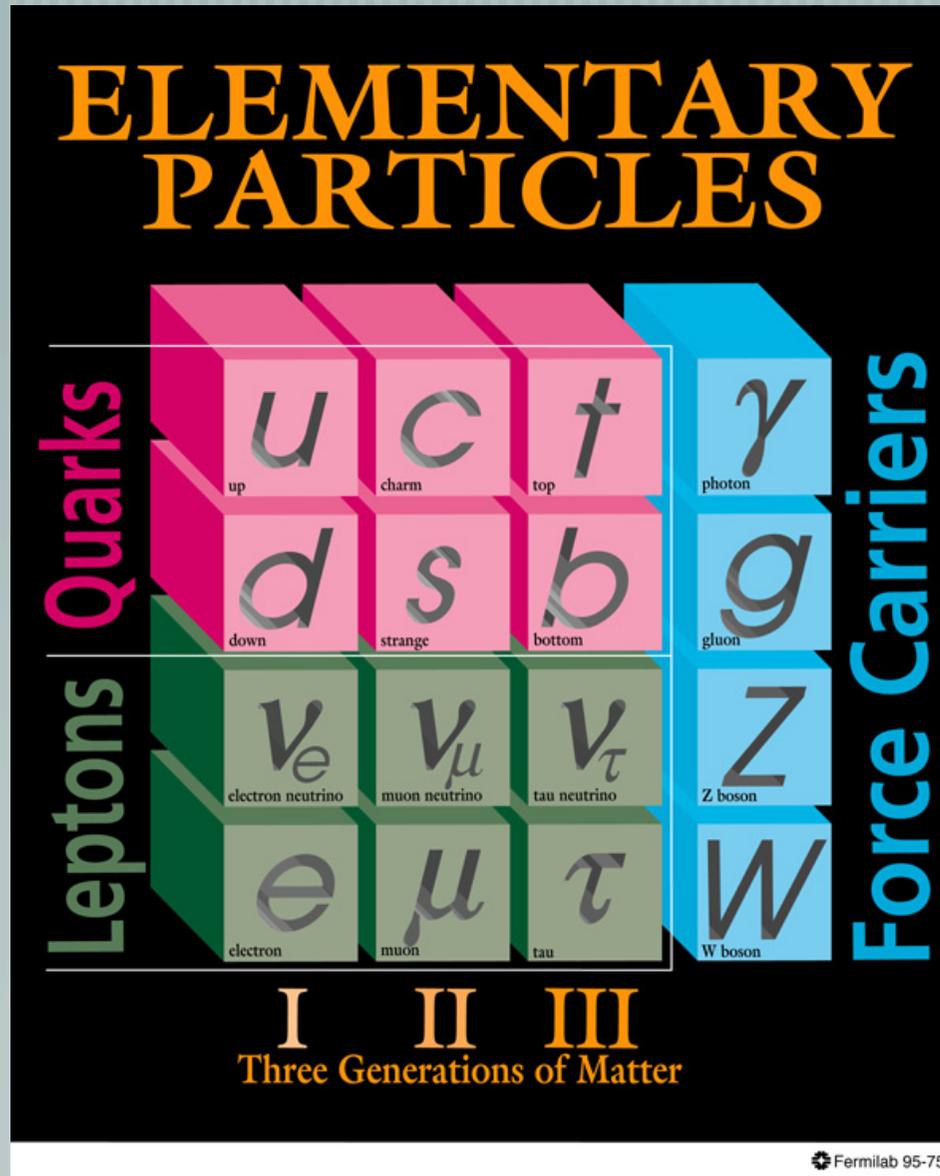
## Descoberta do neutrino do tau



## Então, quantos tipos há?!



# O MODELO PADRÃO (2006)

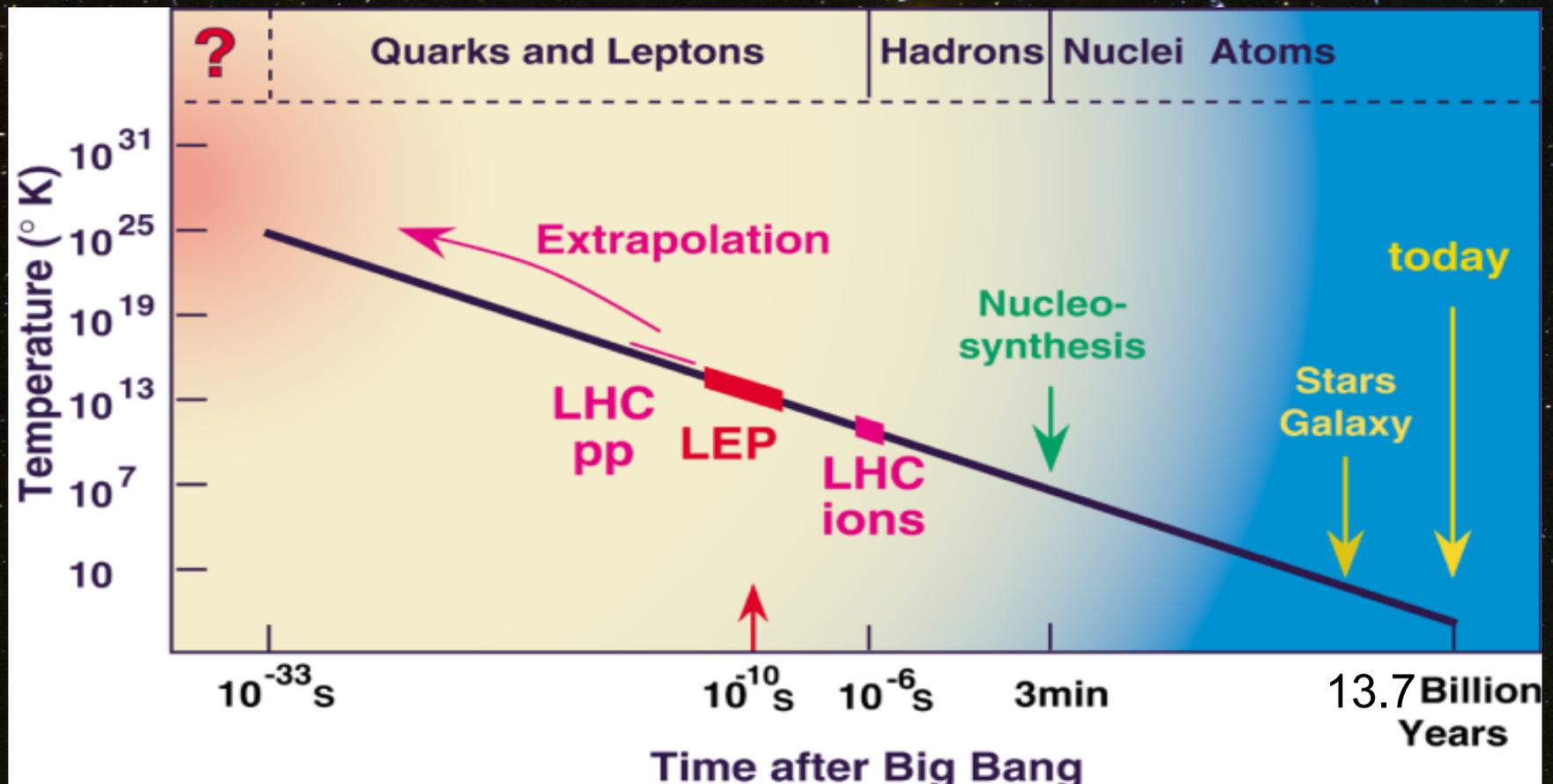




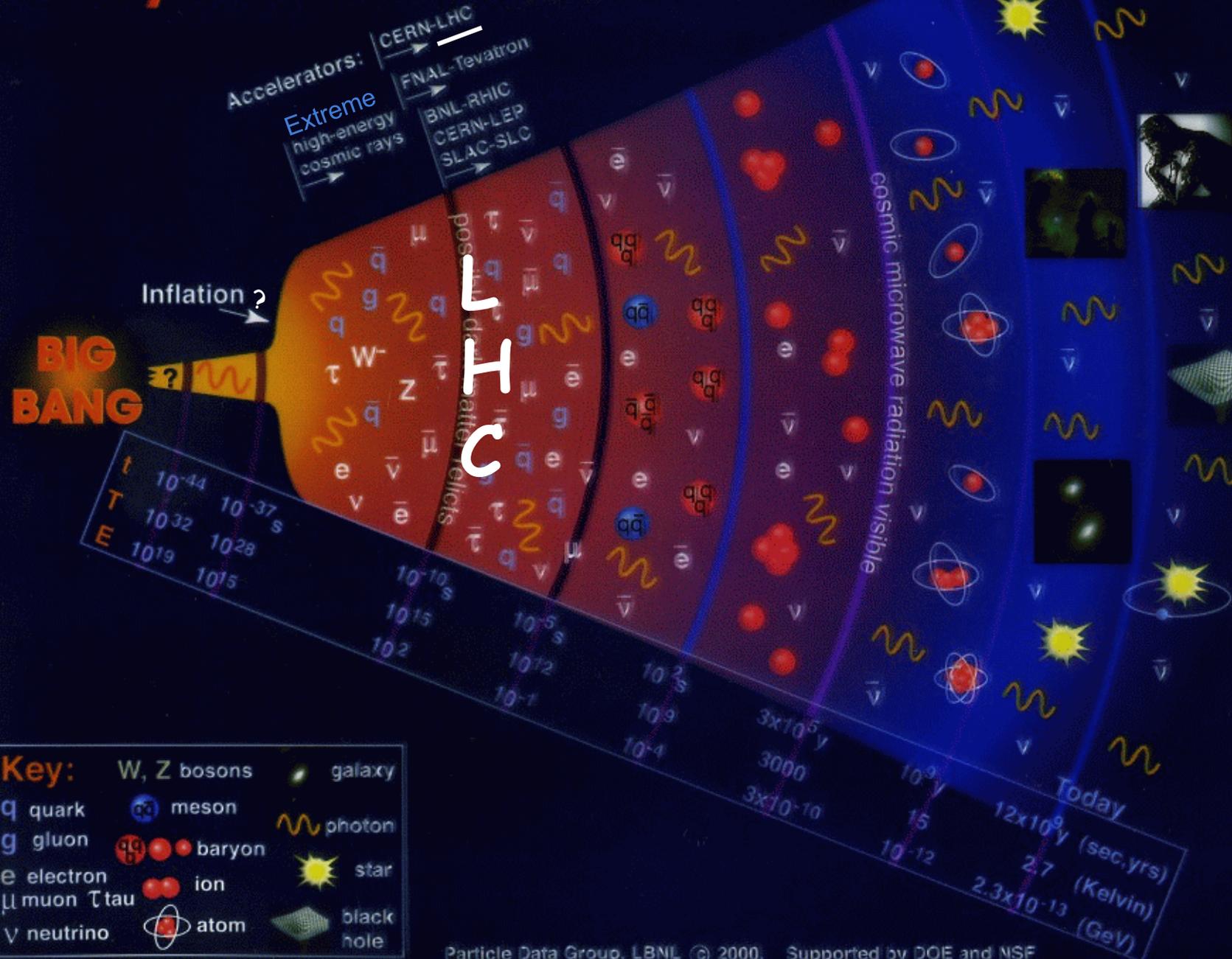
# Universo

## O Cosmos no LHC

- As condições do Universo logo após o Big-Bang serão recriadas no LHC.



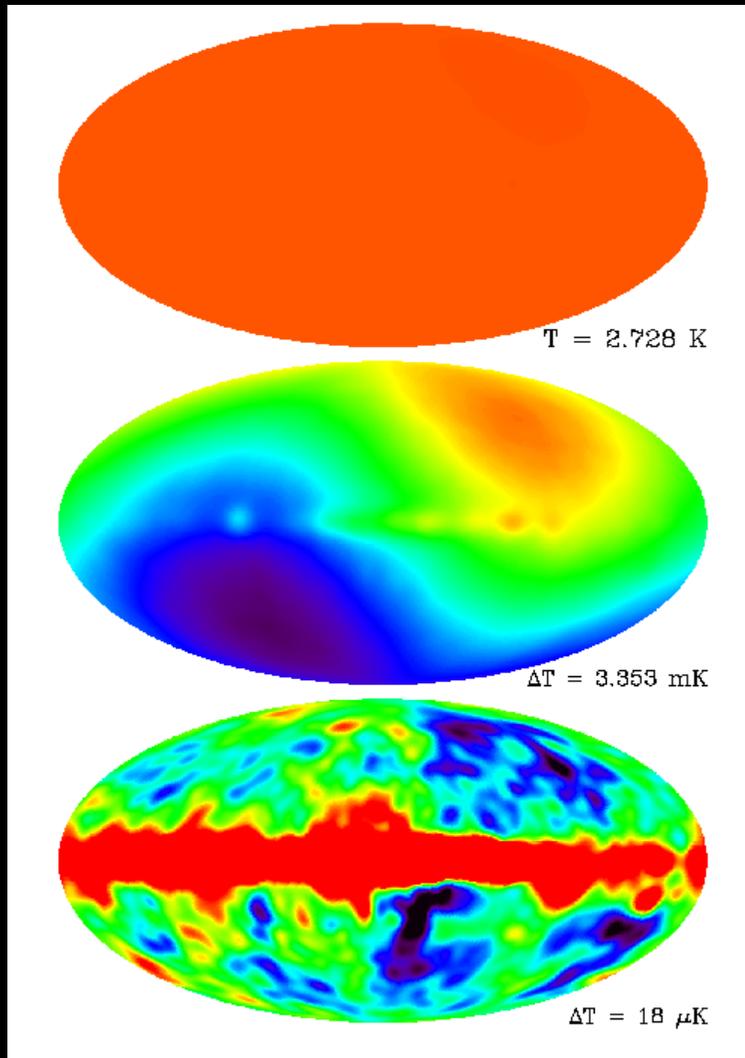
# History of the Universe



H O T M

# Universo

## Estudo da Radiação C3smica de Fundo (COBE) (Pr3mio Nobel 2006)



$T = 2.7 \text{ K}$  **Penzias & Wilson,  
Pr3mio Nobel 1965**

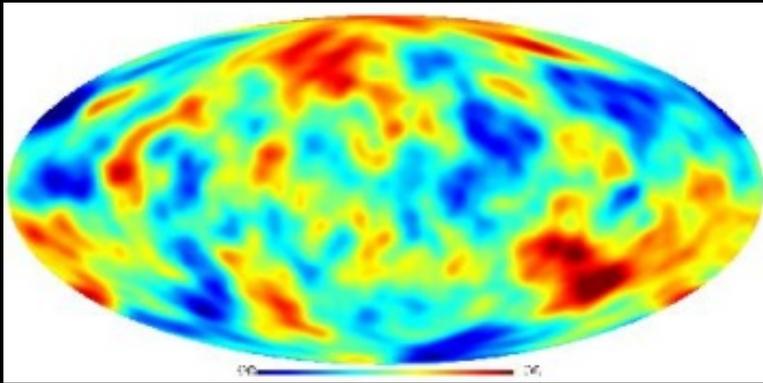
$\Delta T = 3.3 \text{ mK}$   
(depois da subtrac33o do fundo comum)

$\Delta T = 18 \text{ } \mu\text{K}$   
(depois de corrigido para o mov. Terra)

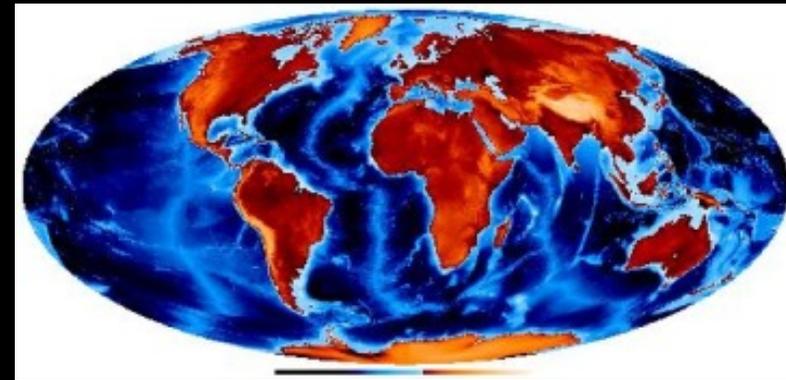
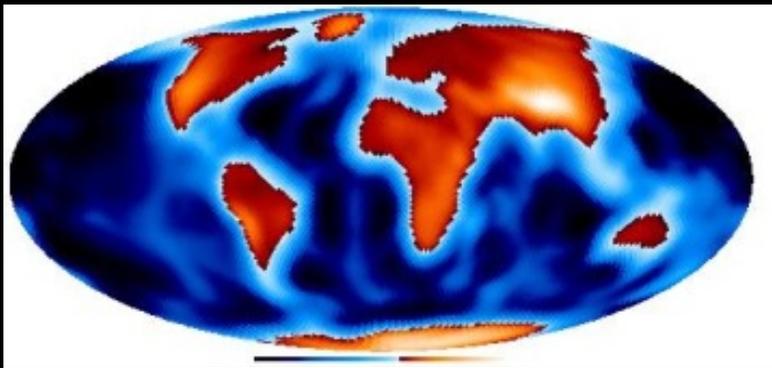
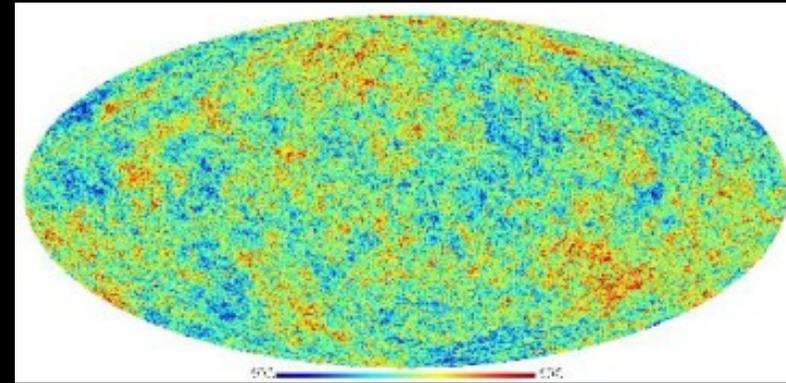
# Universo

A mais precisa observação hoje (WMAP)

**COBE**  
(7 degree resolution)



**WMAP**  
(0.25 degree resolution)



# Conclusões

## Partículas Elementares

### A Origem da massa

Espectro de massas, famílias  
Massa dos neutrinos  
Massa e simetria de gauge  
Mecanismo de Higgs

### A Unificação das Interações

Grande unificação  
Decaimento do próton  
Supersimetria  
Gravitação e supercordas

### Violação de CP

## Cosmologia

### A Expansão do Universo

Big-Bang  
Nucleosíntese primordial  
Radiação Cósmica de Fundo

### Inflação ? Teorias VSL ?

Homogeneidade  
 $\Omega = 1$

### Matéria Escura/Energia escura

### Buracos Negros

### Assimetria matéria-antimatéria

