

Mecânica

Newton

Electro-
magnetismo

Maxwell

Teoria Cinética,
Termodinâmica

Boltzmann

Partículas

Interações

Detectores

Aceleradores (Raios Cósmitos e Aceleradores Artificiais)

Electromagnético Fraco Forte

1895

e^-

Electroscópio

1900

Movimento
Browniano

Fotão

Radio-
actividade

1905

Átomo

1910

Relatividade
Restrita

Contador Geiger

Raios Cósmitos

1920

Núcleo

Mecânica Quântia
Onda/Corpúsculo
Fermiões / Bosões

Câmara de Nuvens

1930

p^+

Dirac
Antimatéria

Decaimento
Beta (Fermi) / Yukawa

Ciclotrão

1940

μ^-

Troca
 π

Circuito de
Coincidências

Chuveiros de Partículas

1950

Zoo
Partícu-
las 7

QED

Violação
P, C, CP

Sincrotrão

1960

ν_e

Bosões W

Câmara de Bolhas

Colisão e^+e^-

1970

ν_μ

Higgs

Unificação E-F

Câmaras de Fios

R.C. Energias Extremas

1975

MODELO PADRÃO

GUT

Côr

Computadores em
Aquisição de Dados

Arrefecimento Estocástico

1980

τ^-

SUSY

W Z g

Detectores
Modernos

Colisão p^+p^-

1990

ν_τ

Supercordas

3 famílias

LEP

WWW

2000

massa ν

GZK + Anisotropia

2010

LHC

GRID

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

HADRÕES

$\pi^+ \pi^- \pi^0$
 Pions
 η'
 Eta-Prime
 η
 Eta
 $\rho^+ \rho^- \rho^0$
 Rho
 $K^+ K^- K^0$
 Kaons
 ϕ
 Phi
MESÕES

$\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^0, \Delta^-$
 Delta
 Λ^0
 Lambda (estranho!)
 $\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$
 Sigma (estranho!)
 Ξ^0, Ξ^-
 Sigma(muito estranho!)
BARIÕES

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

PARTÍCULAS

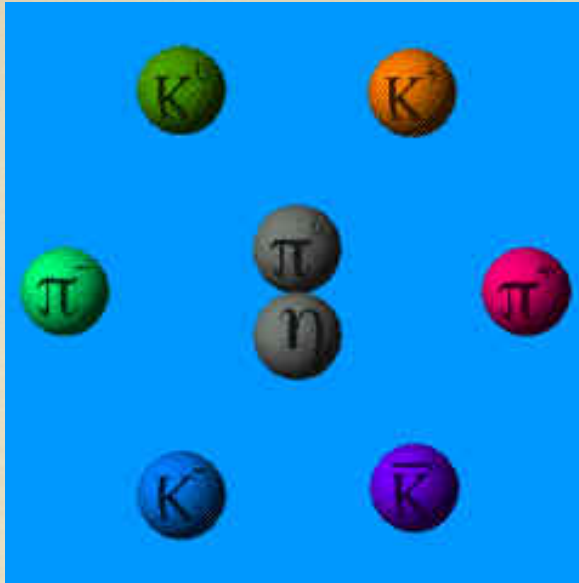
The Eightfold Way (1963)



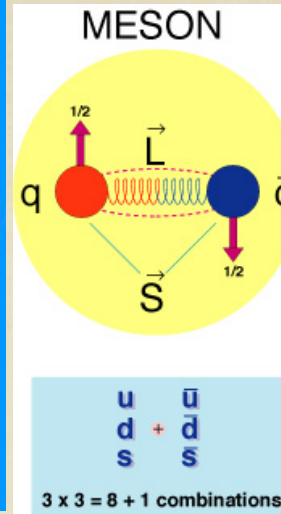
Fig. 6.35 Murray Gell-Mann (b.1929).

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

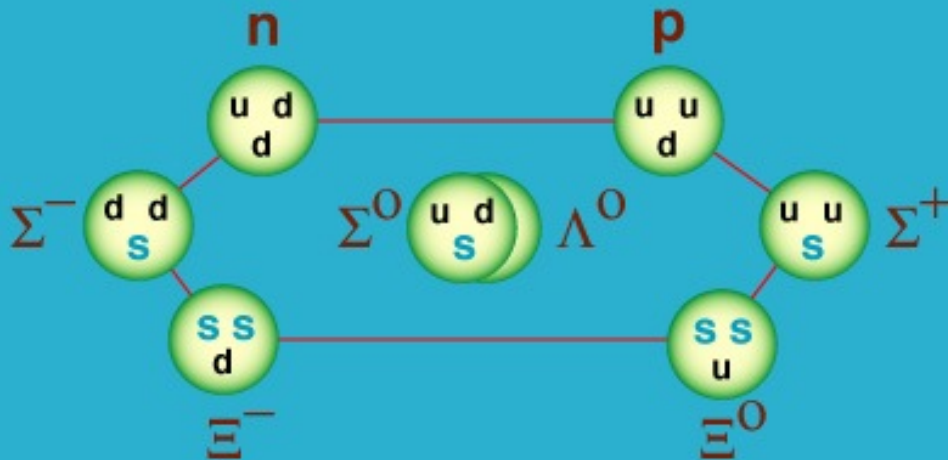
Aparecem **apenas** nas combinações:

Mesão = quark+antiquark

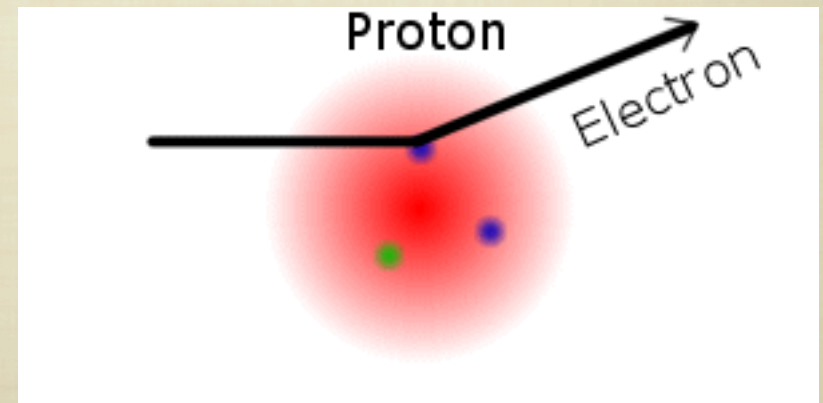
Barião = quark1 + quark2 + quark3

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’

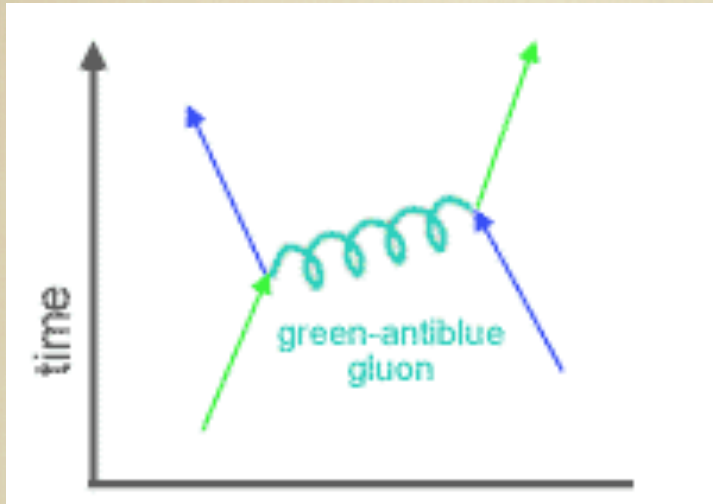
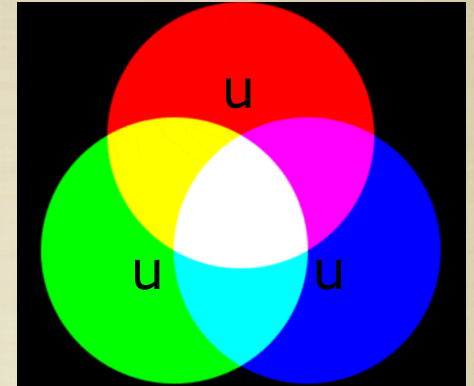


Mas e o Δ^{++} ?! uuu??!!

PARTÍCULAS

1973

Carga de côr



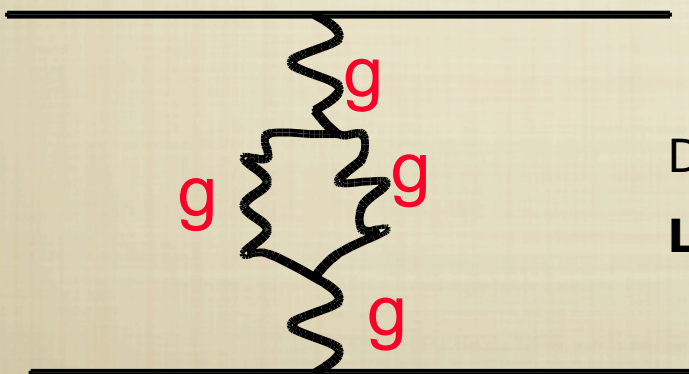
Gluões

Gluões são os portadores da interação forte

Há $3 \times 3 - 1 = 8$ gluões

Gluões têm carga de côr \rightarrow auto-interacção

Auto-interacção dos gluões

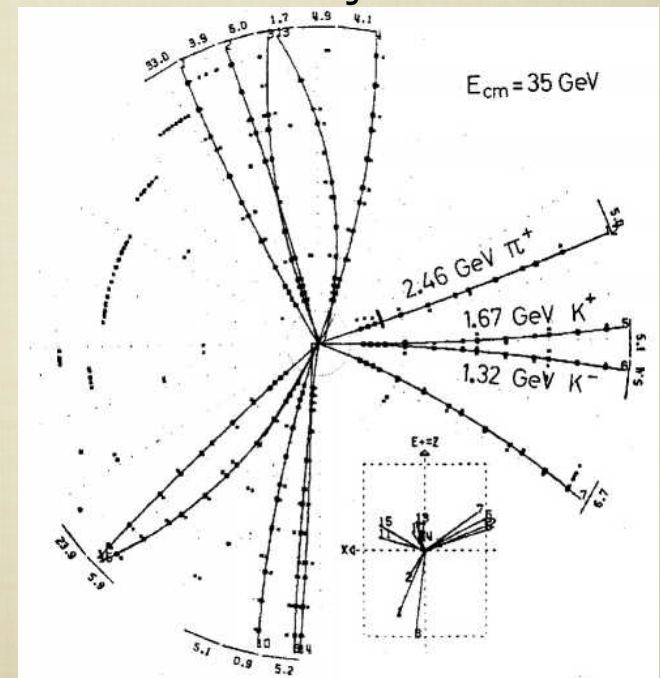


$$V_{QCD} = -\frac{4}{3} \frac{\alpha_s}{r} + kr$$

Distâncias pequenas:

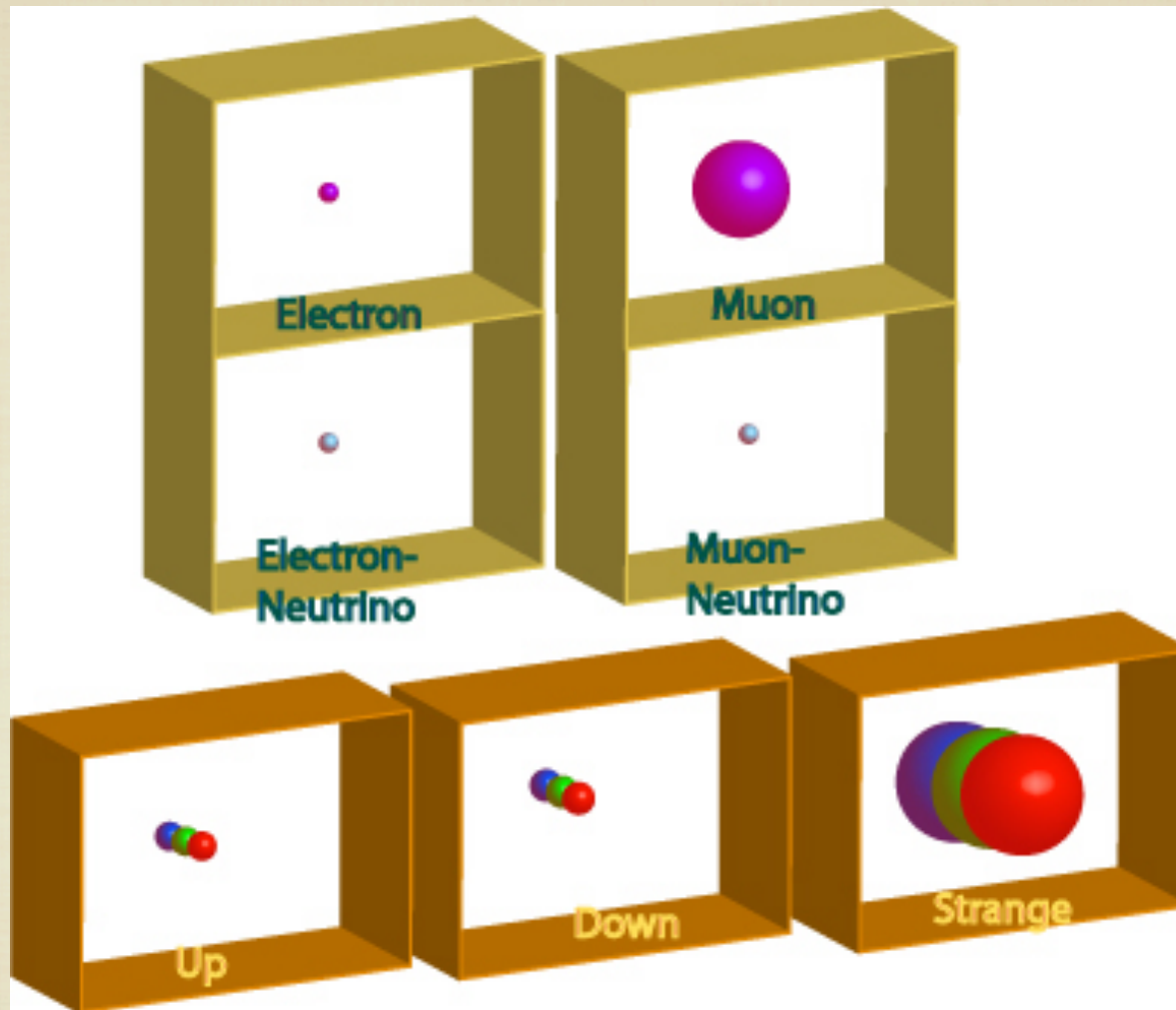
Liberdade Assimptótica

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

Interações

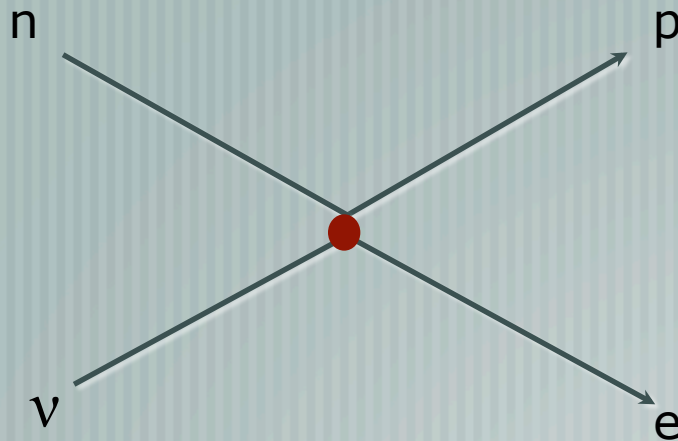
1958 Glashow

Havia um pequeno problema (teórico):

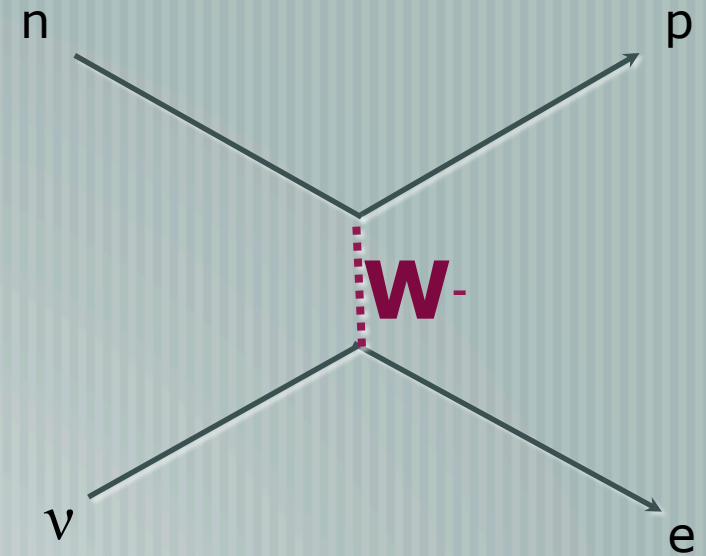
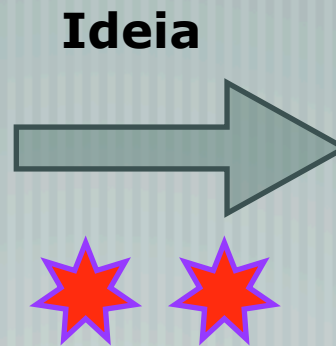
Probabilidade Neutrino-Proton $\sim (G_F E_V)$
viola Princípio da Unitaridade* para $E > 300 \text{ GeV}$

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

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



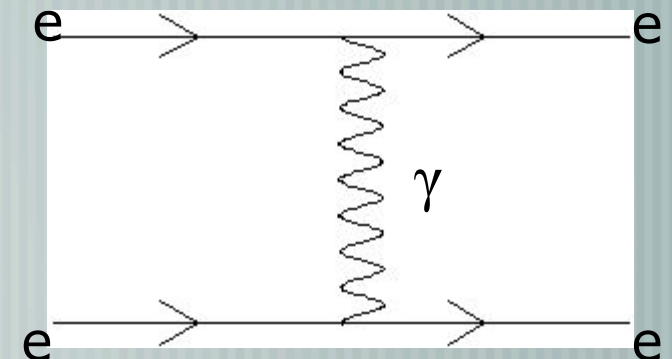
Modelo de Fermi



Modelo Glashow

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

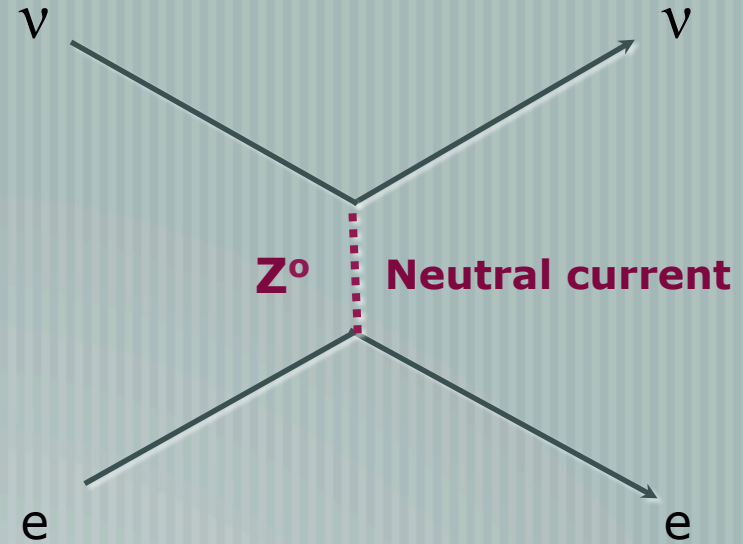
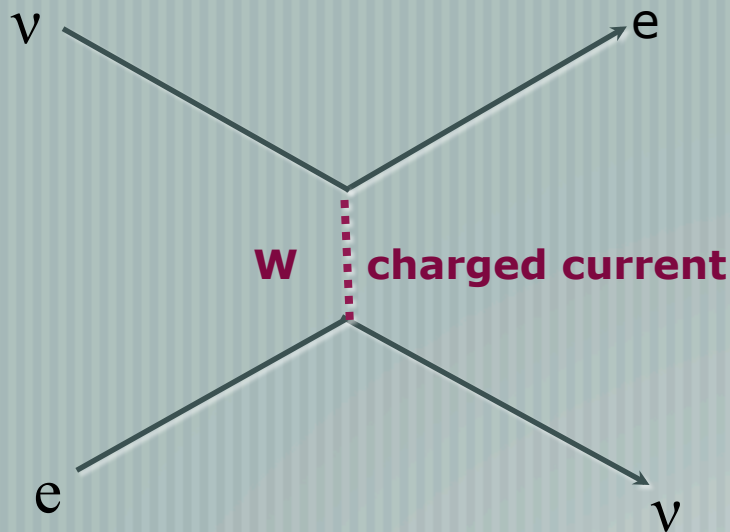
**Grande massa (80 GeV) explica
curto alcance ($2 \cdot 10^{-18} \text{ m}$) e baixas probabilidades**



Interacções

Electrofraca

1968



Glashow, Salam, Weinberg (1968) – Força Electrofraca

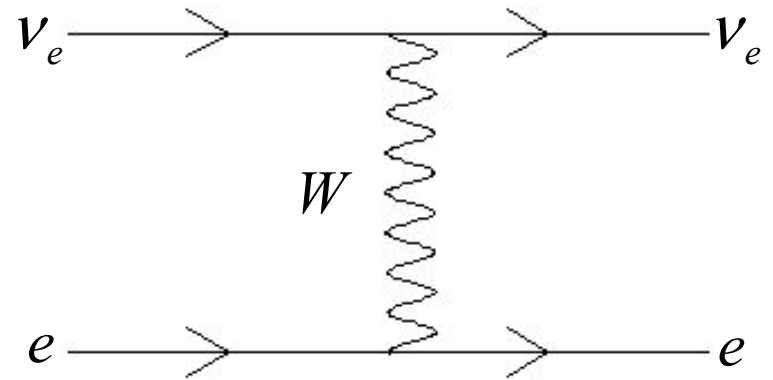
- As interacções electromagnética e fraca são dois aspectos da mesma força 'electrofraca'
- Todos os quarks e os leptões têm uma carga 'fraca'
- Devia haver um 'fotão massivo' (Z^0) e 2 bosões carregados (W^\pm) de massas $\sim 50-100$ GeV
- Estes recebem a sua massa apenas devido a um nova "Interacção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

Secções eficazes 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 bosão massivo:

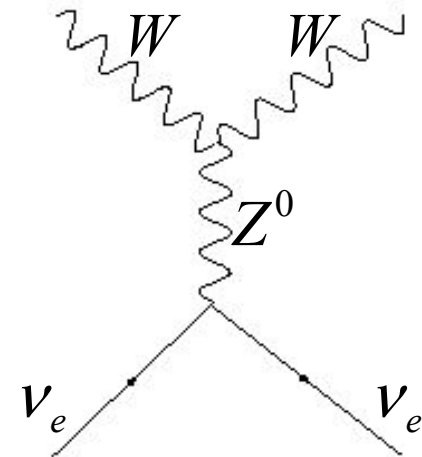
$$\sigma(\nu_e e \rightarrow \nu_e e) = \frac{G^2 M_W^2}{\pi}$$



Mas agora também podemos ter:

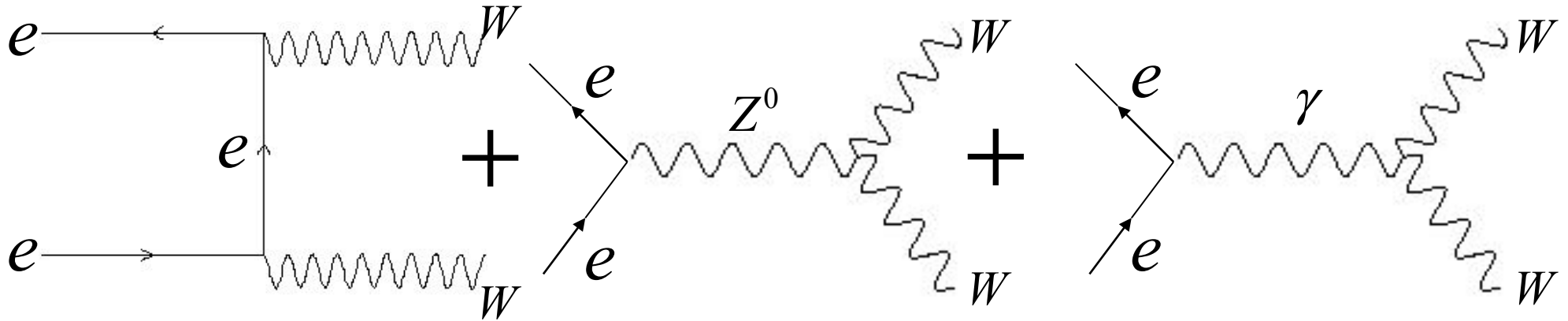
$$\sigma \left[\begin{array}{c} \text{Diagram with } W \text{ exchange} \\ \text{Diagram with } Z^0 \text{ exchange} \end{array} \right] = \frac{G^2 s}{3\pi}$$

Divergência cancelada por:

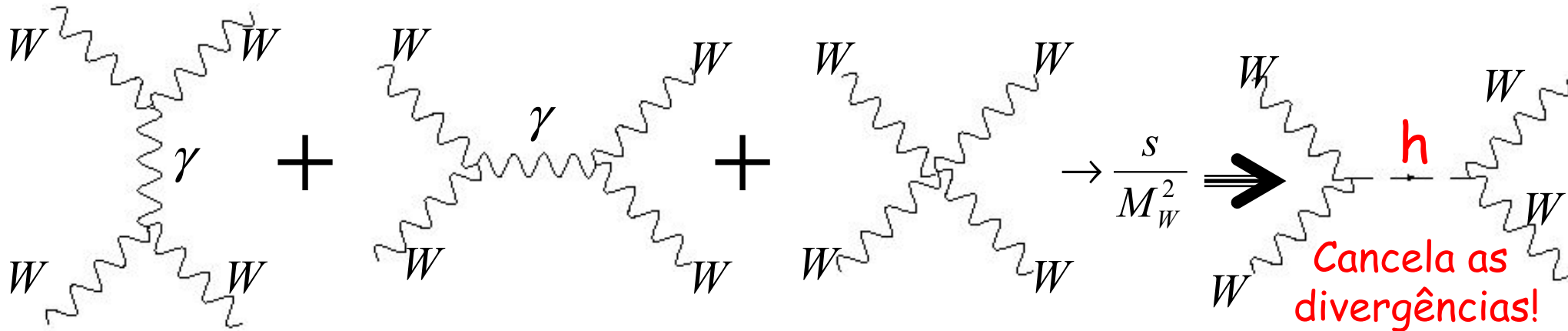


... justificadas pelo Bosão de Higgs

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



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

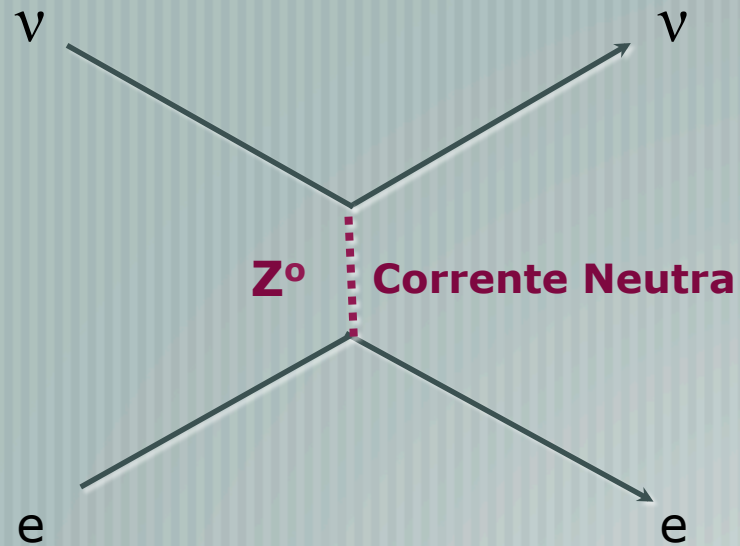


Interações

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

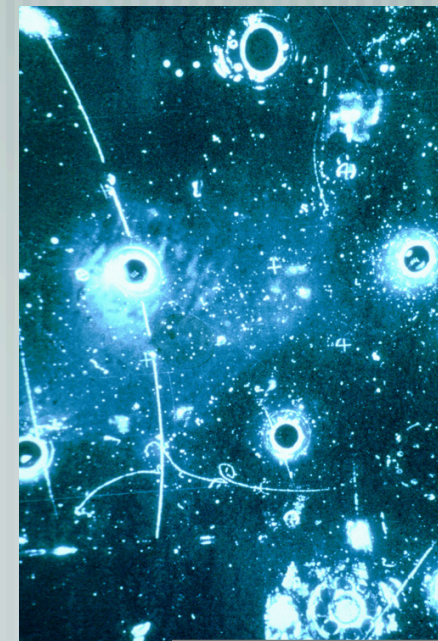
OBSERVATION OF NEUTRINO-LIKE INTERACTIONS WITHOUT MUON OR ELECTRON IN THE GARGAMELLE NEUTRINO EXPERIMENT

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[†], P. MUSSET, B. OSCULATI, R. PALMER^{††},
J.B.M. PATTISON, D.H. PERKINS[†], A. PULLIA, A. ROUSSET,
W. VENUS^{††} 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



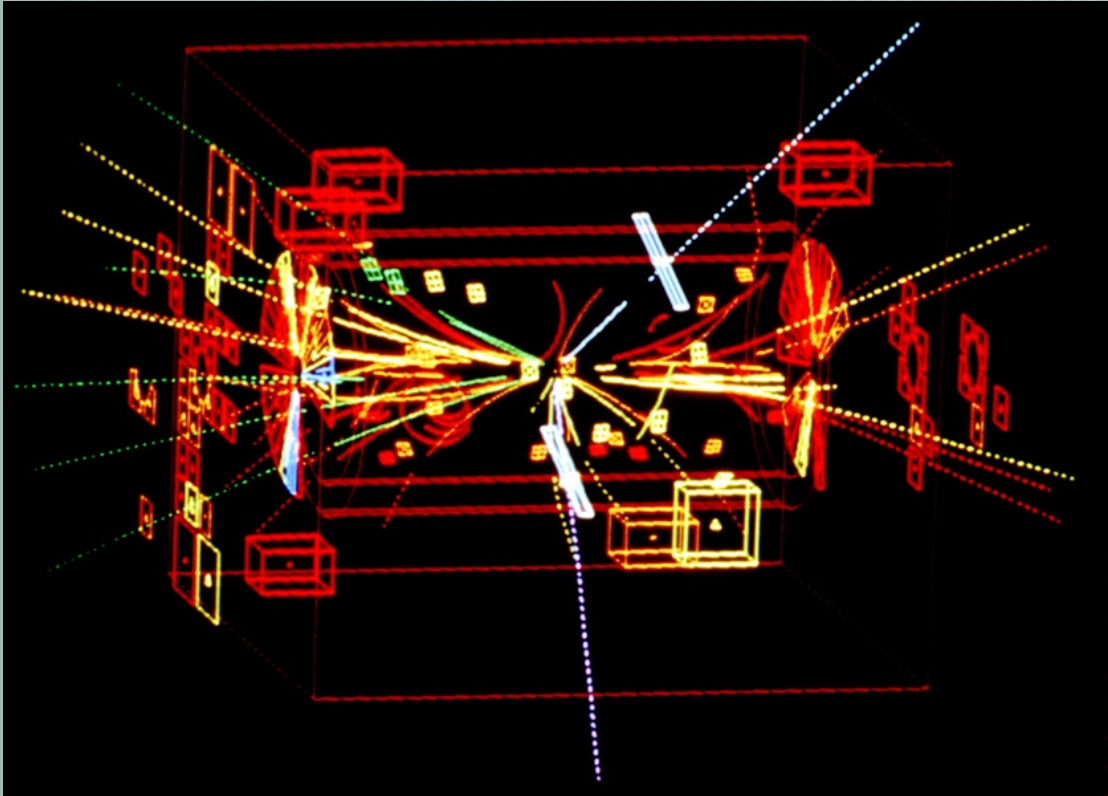
Interações

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*

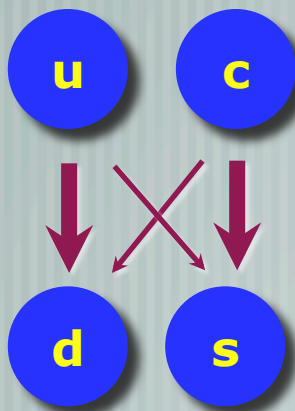
S. L. GLASHOW, J. ILIOPOULOS, AND L. MAIANI†

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

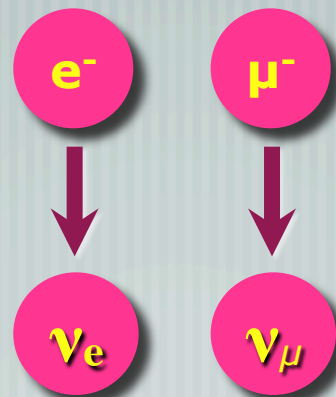
(Received 5 March 1970)

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

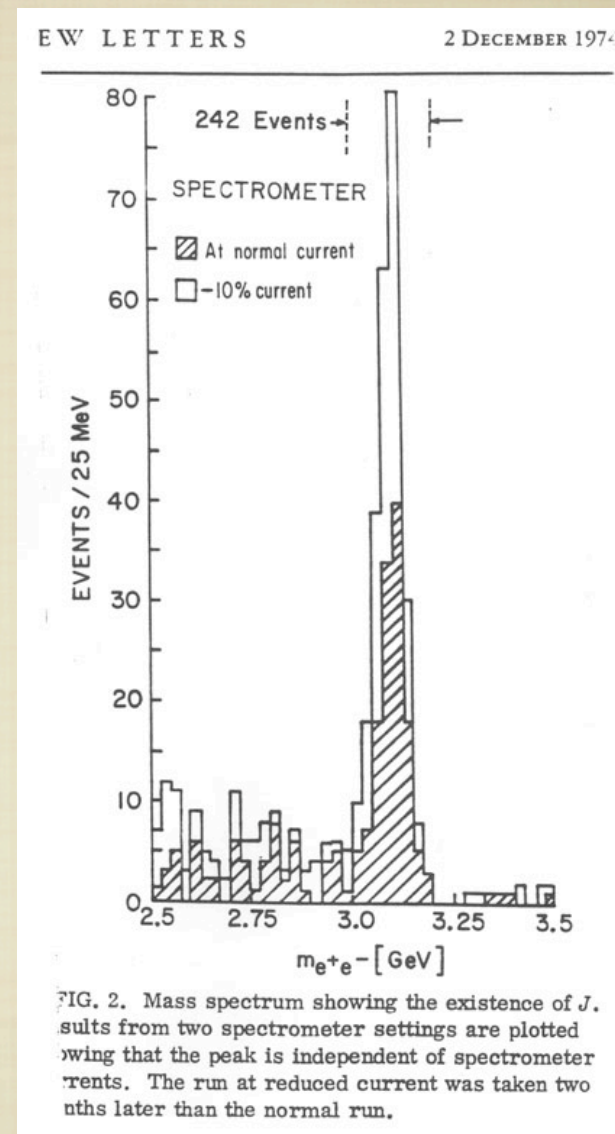
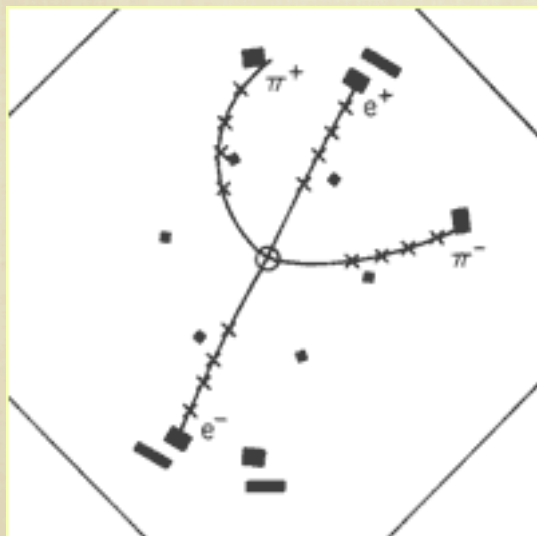


*'Standard Model'
(com duas famílias)*

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 (Raios Cósmitos e Aceleradores Artificiais)

Electromagnético Fraco Forte

1895

e^-

Electroscópio

1900

Movimento Browniano

Fotão

Radio-actividade

1905

Átomo

1910

Relatividade Restrita

Contador Geiger

Raios Cósmitos

1920

Núcleo

Mecânica Quântia
Onda/Corpúsculo
Fermiões / Bosões

Câmara de Nuvens

1930

p^+

Dirac
Antimatéria

Decaimento Beta (Fermi) /ukawa
Troca π

Ciclotrão

1940

μ^-

Circuito de Coincidências

Chuveiros de Partículas

1950

Zoo Partículas

QED

Violação P, C, CP

Câmara de Bolhas

Sincrotrão

1960

ν_e

Bosões W

Colisão e^+e^-

R.C. Energias Extremas

1970

u d s

Higgs

Unificação E-F

Câmaras de Fios

Arrefecimento Estocástico

1975

MODELO PADRÃO

GUT

SUSY

10

Côr QCD

Computadores em Aquisição de Dados

Colisão p^+p^-

1980

τ^-

b

9

Supercordas

W Z g

Detectores Modernos

LEP

WWW

1990

ν_τ

t

3 famílias

GZK + Anisotropia

2000

massa ν

LHC

GRID

2010

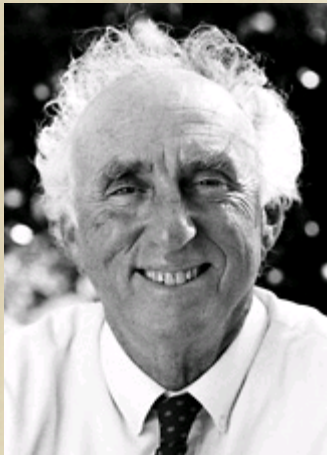
PARTÍCULAS

Leptões

1975

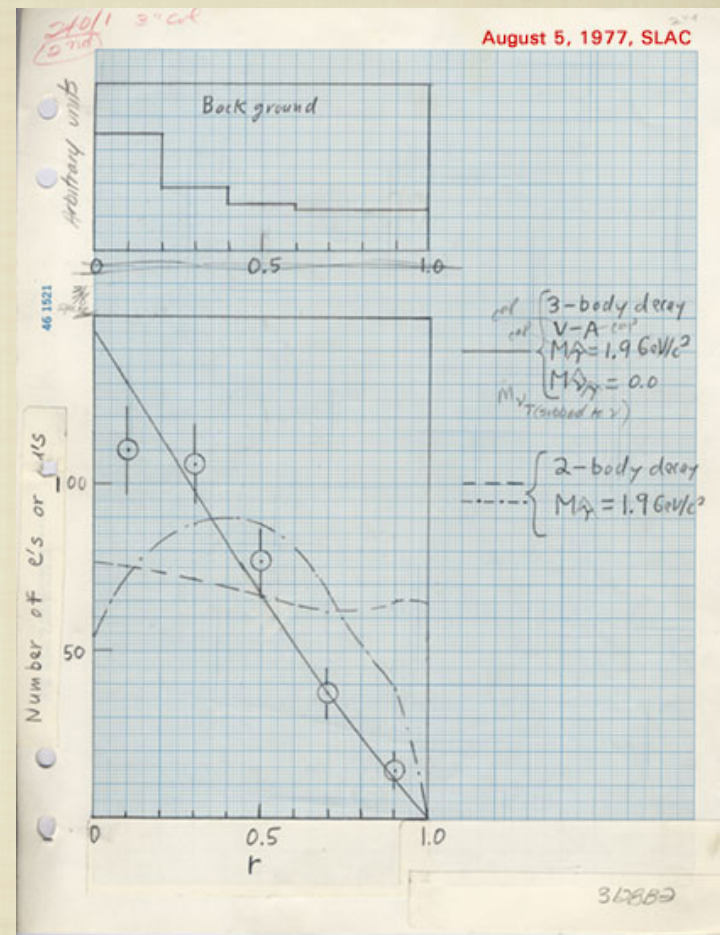
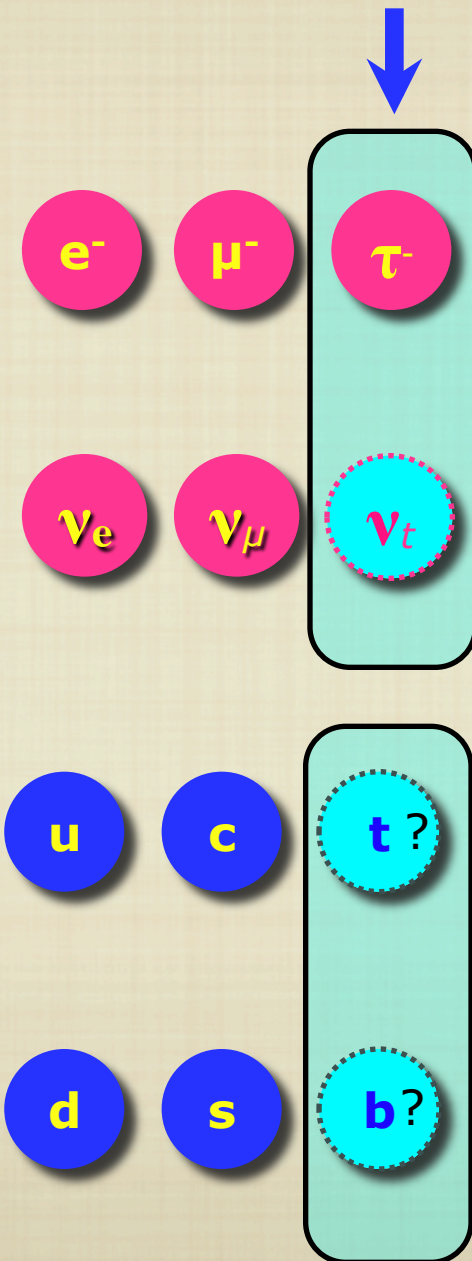
Descoberta do Tau (massa = 3500 m_e)

SLAC (Martin Perl)



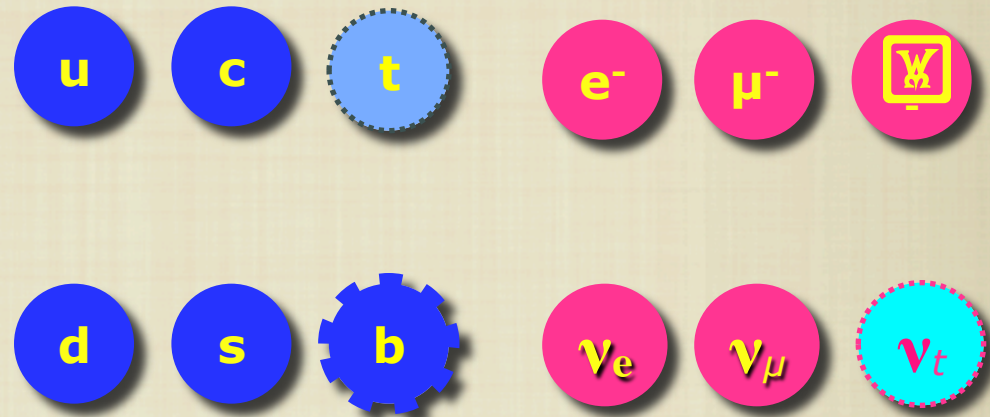
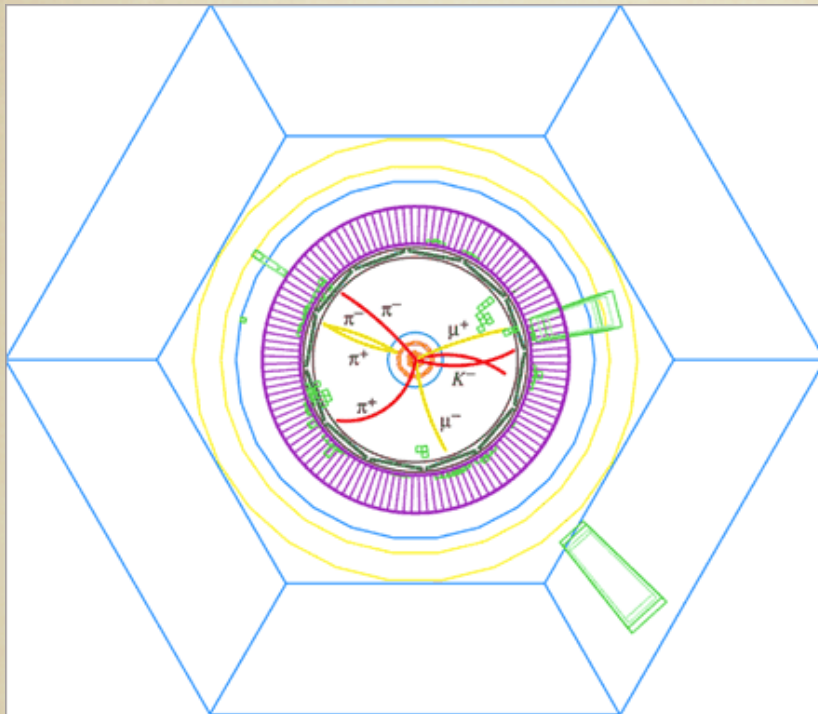
Prémio Nobel 1995

Então e no sector dos quarks?



Diário do Martin Perl

Descoberta do Quark 'Bottom' (Fermilab)



Quarks

Leptons

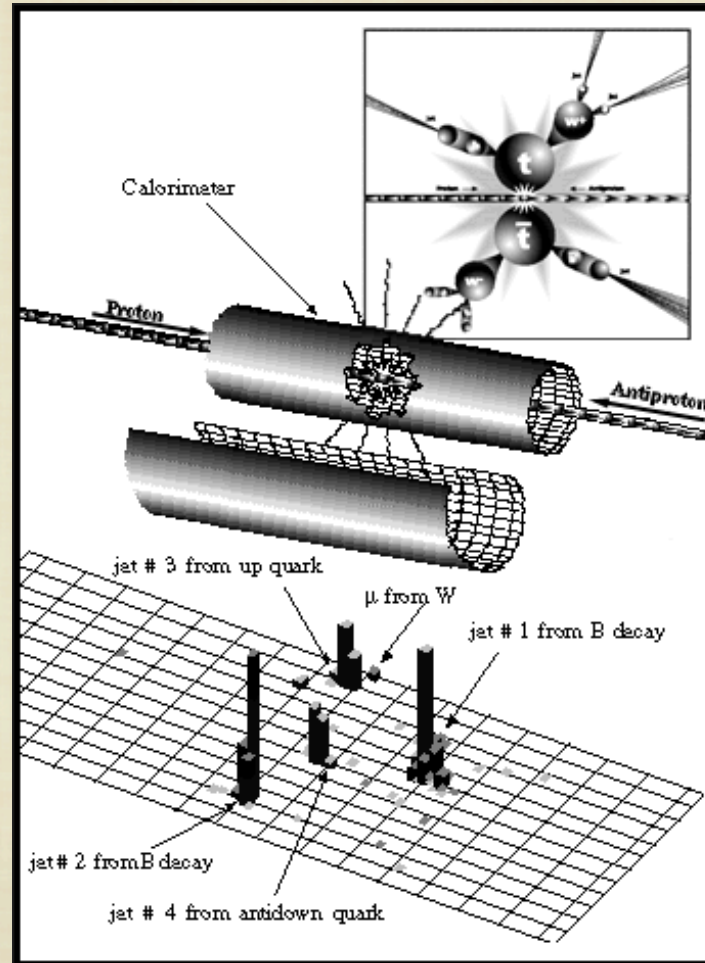
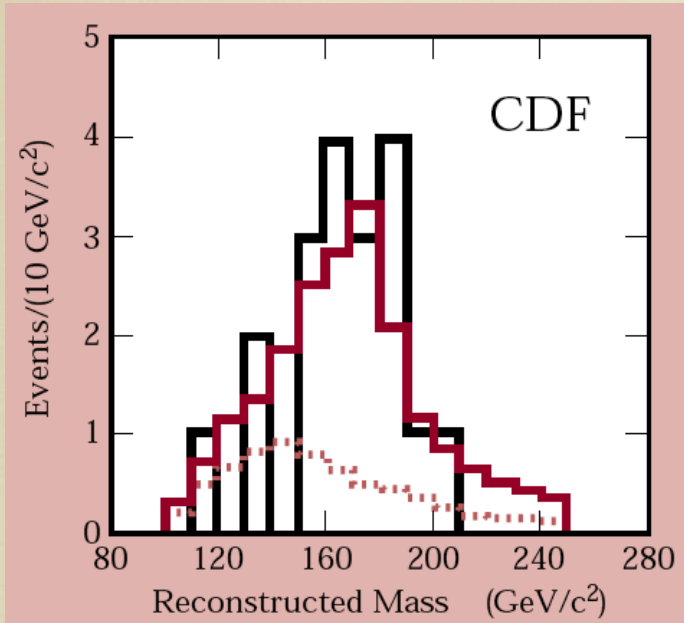
Em 1977 os físicos descobriram no Fermilab a partícula Upsilon = mesão com quark b e antiquark b.

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

Descoberta do Quark 'Top' (Fermilab)



Quarks



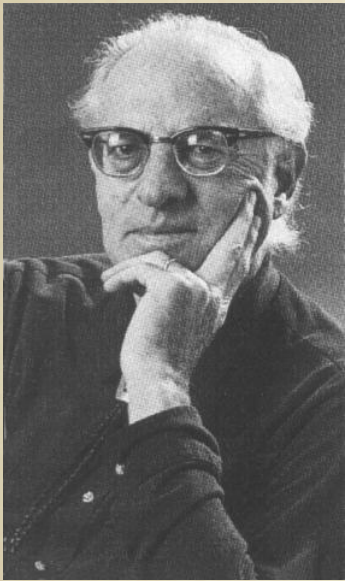
A História dos Neutrinos

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,[†] and J. Steinberger[†]

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 μ mesons but do not produce electrons, and hence are very likely different from the neutrinos involved in β decay and (2) approximate cross sections.

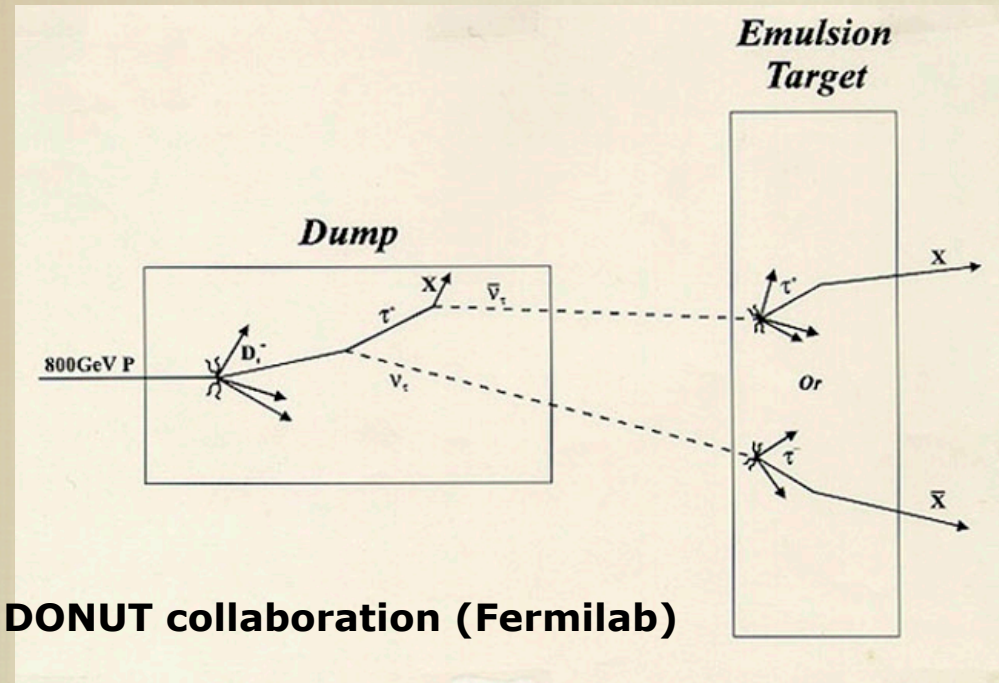
Behavior of cross section as a function of energy. The Fermi theory of weak interactions which works well at low energies implies a cross section for weak interactions which increases as phase space. Calculation indicates that weak interacting cross sections should be in the neigh-



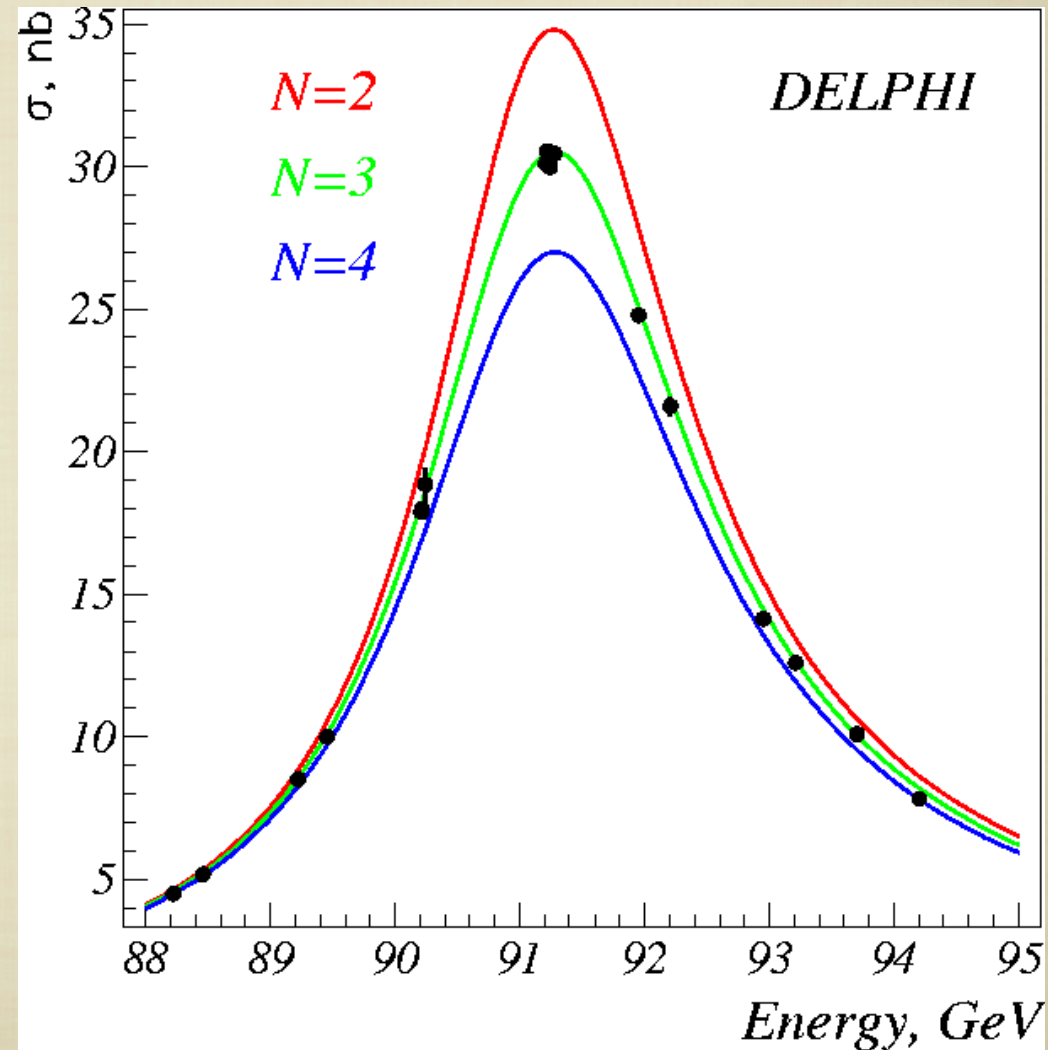
Jack Steinberger, HST 2002

Os neutrinos têm massa? Podem oscilar ?

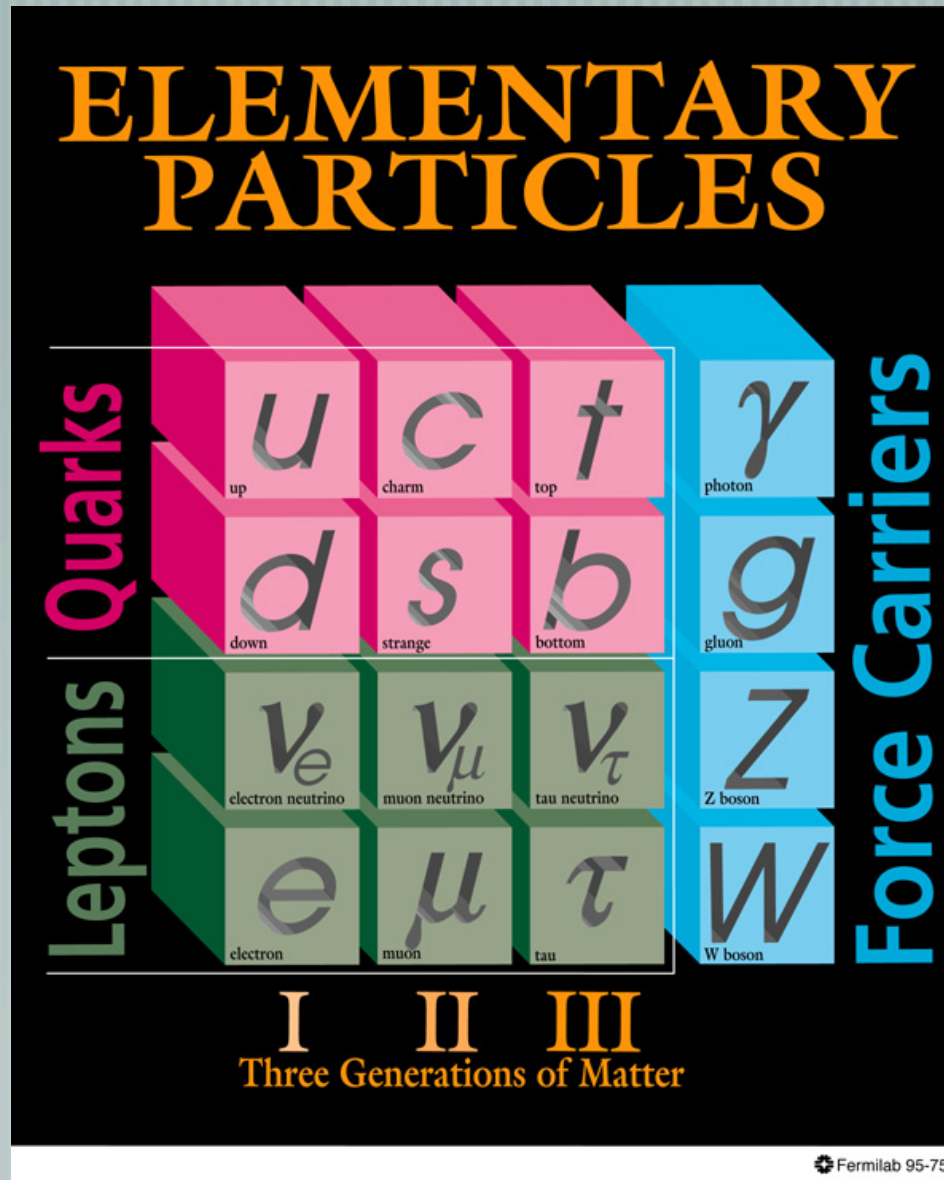
Descoberta do neutrino do tau

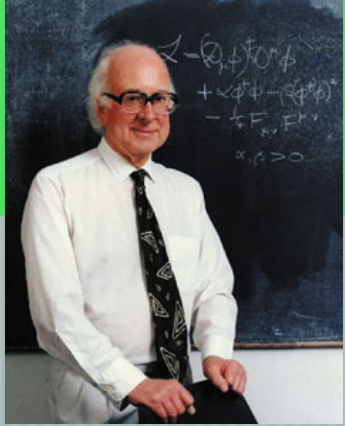


Então, quantos tipos há?!



O MODELO PADRÃO (2006)





Peter Higgs

Mecanismo de Higgs

Como é que as partículas ganham massa?

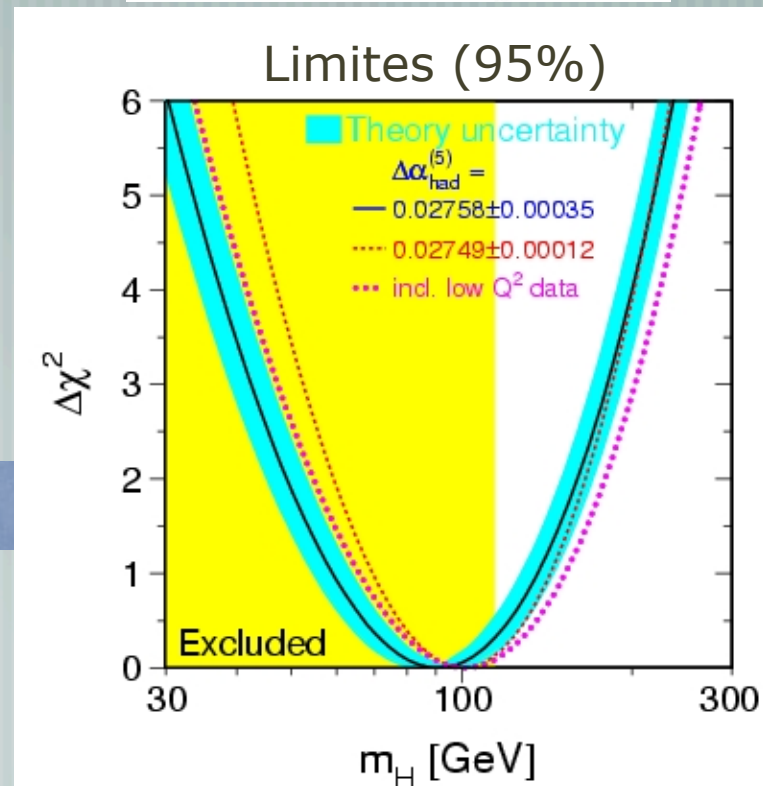
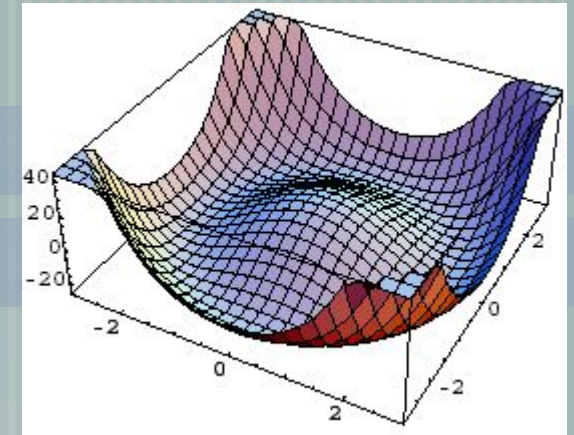
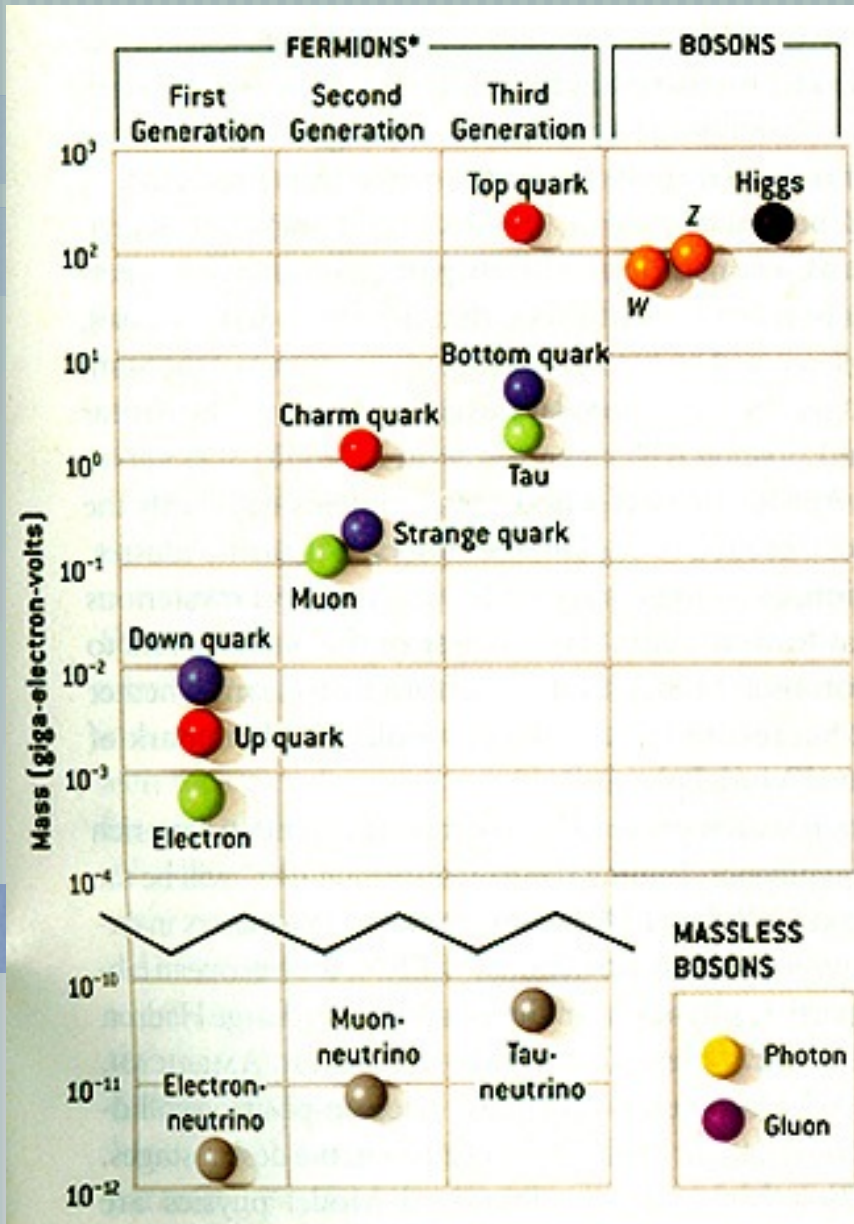
1 TeV →

100 GeV →

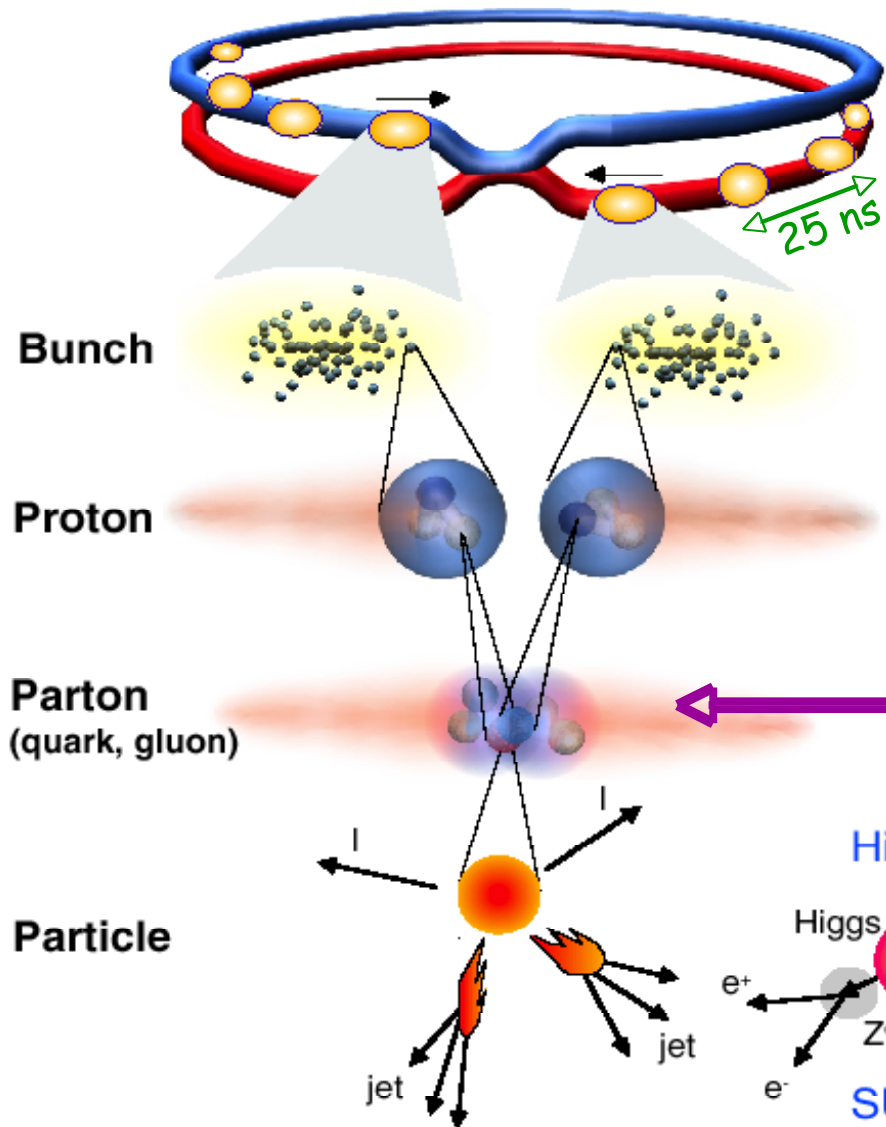
1 GeV →

1 MeV →

0.01 eV →



Colisões em LHC



Proton-Proton

Protons/bunch	10^{11}
Beam energy	7 TeV (7×10^{12} eV)
Luminosity	10^{34} cm ⁻² s ⁻¹

Event rate in ATLAS :

$$N = L \times \sigma (pp) \approx 10^9 \text{ interactions/s}$$

Mostly soft (low p_T) events

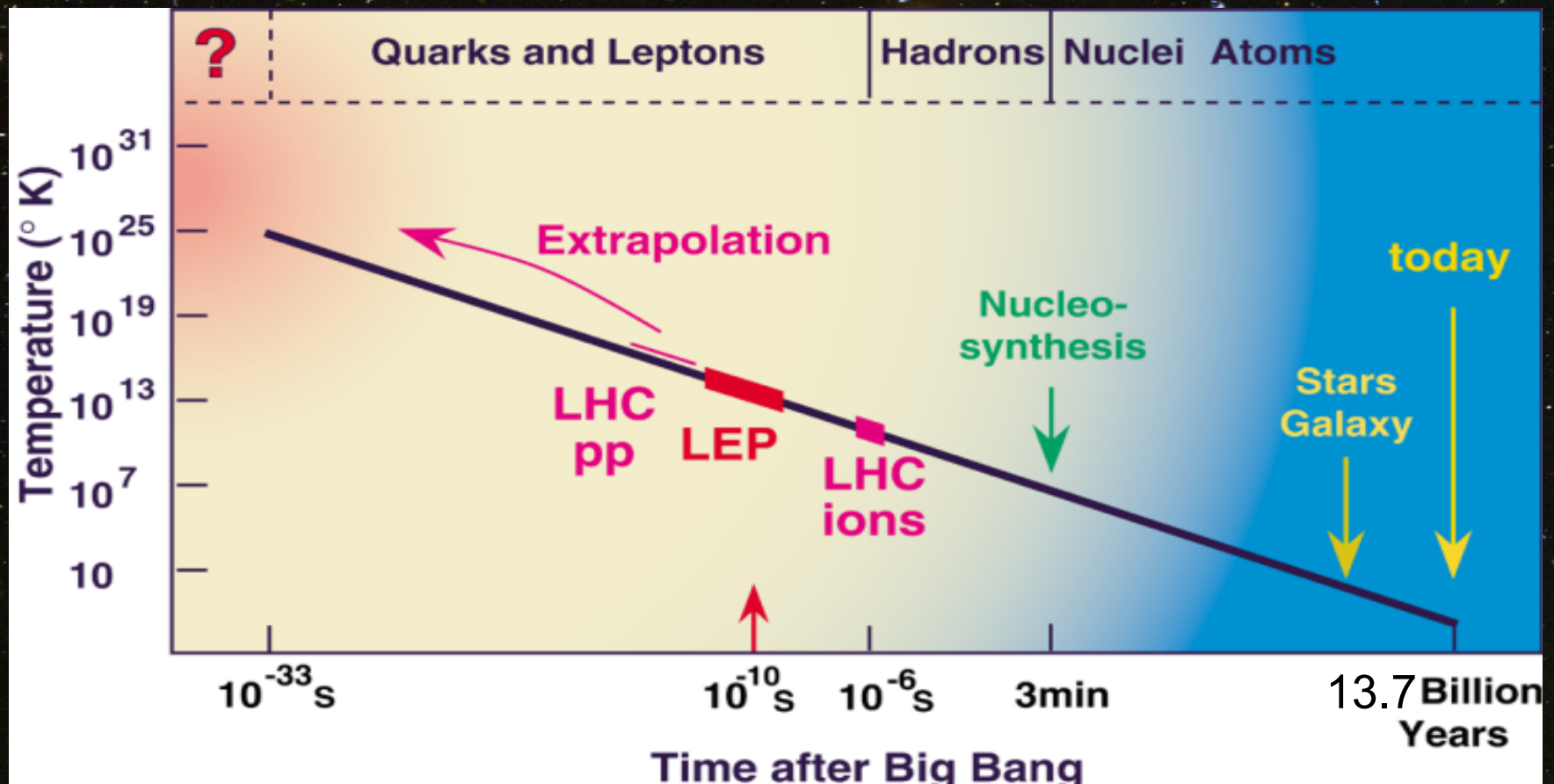
Interesting hard (high- p_T) events are rare

**Selection of 1 in
10,000,000,000,000**

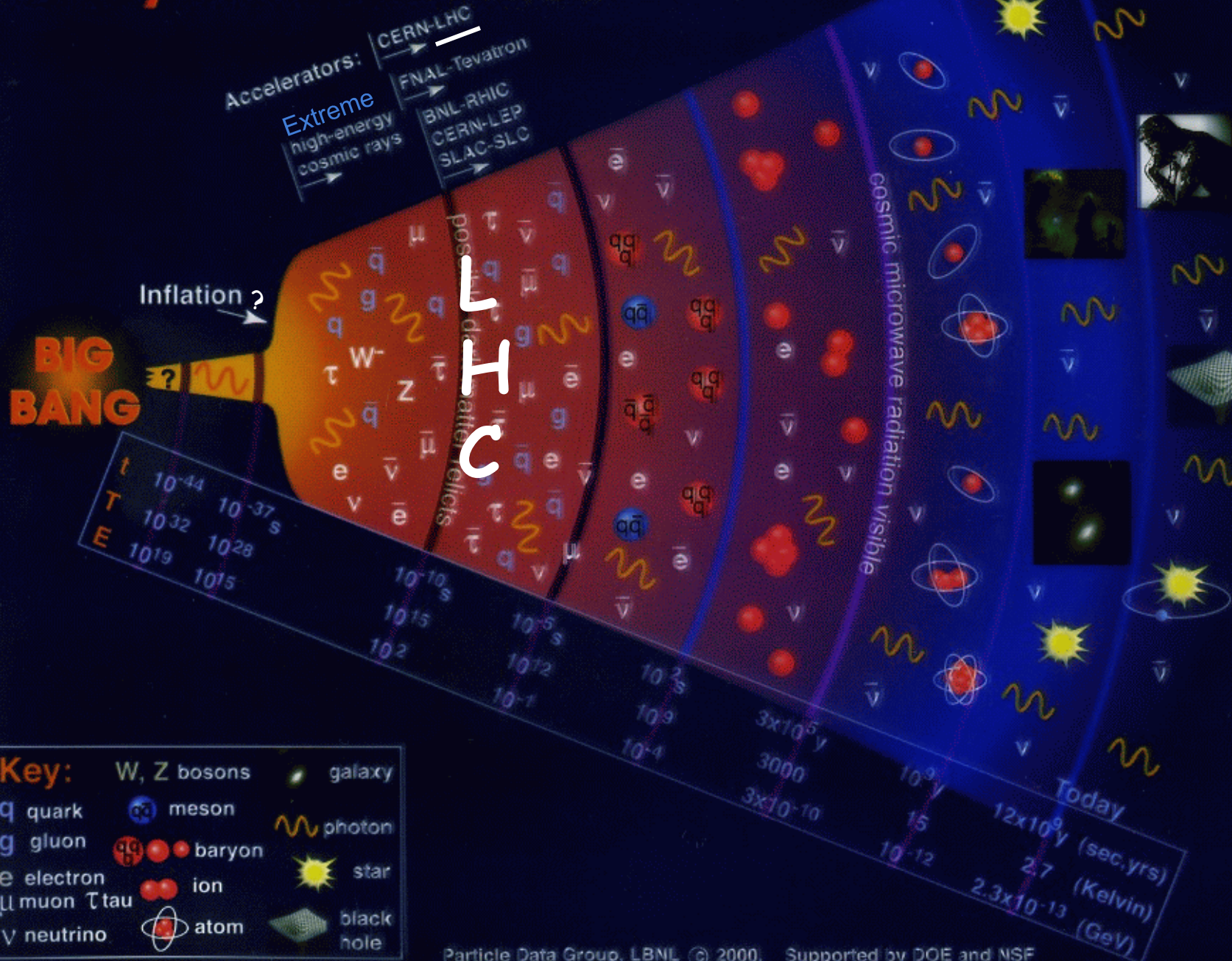
Universo

O Cosmos no LHC

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



History of the Universe



Key:

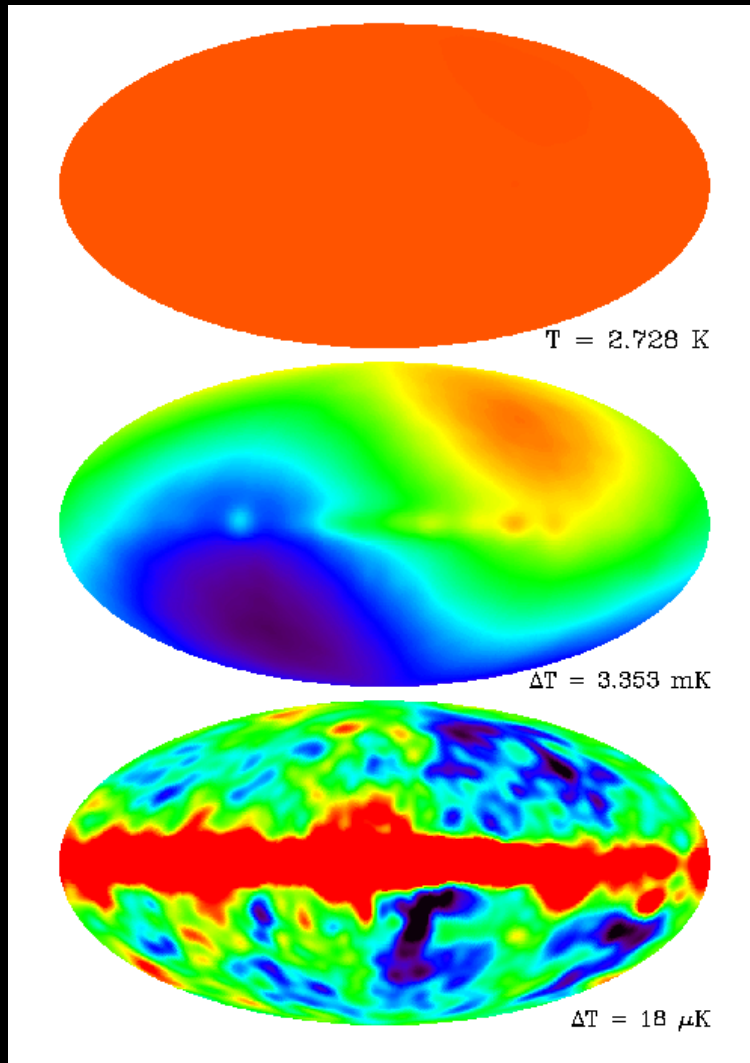
- W, Z bosons
- quark (q)
- gluon (g)
- electron (e)
- muon (μ)
- tau (τ)
- neutrino (ν)
- meson ($q\bar{q}$)
- baryon (qqq)
- ion (e^-)
- atom
- galaxy
- photon
- star
- black hole

Particle Data Group, LBNL © 2000. Supported by DOE and NSF

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**

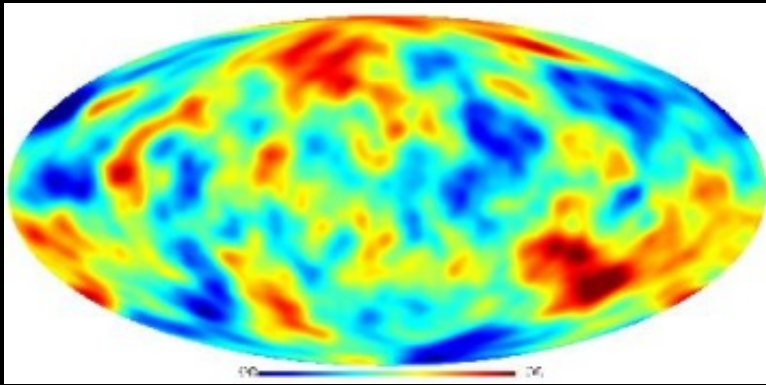
$\Delta T = 3.3 \text{ mK}$
(depois da subtrac33o do fundo comum)

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

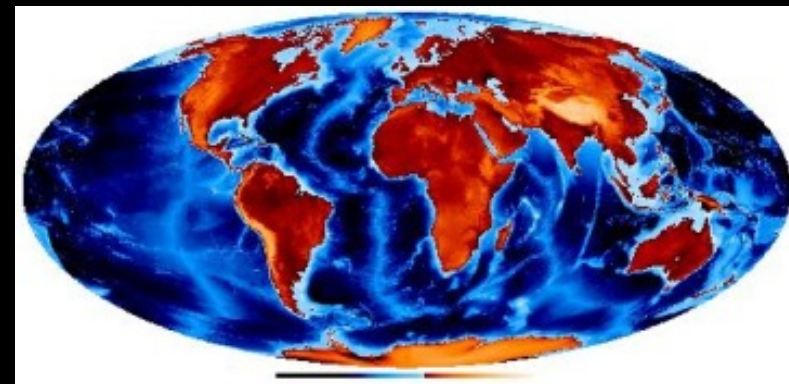
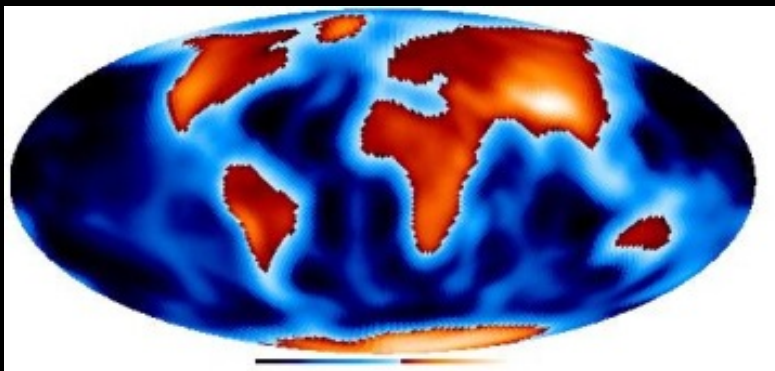
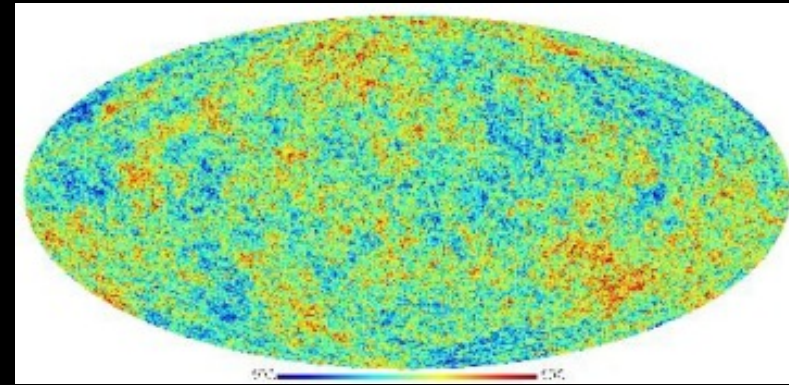
Universo

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

