



Estrutura da Matéria: as partículas elementares e as forças entre elas

Jorge C. Romão

Instituto Superior Técnico, Departamento de Física & CFTP

A. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal

8 de Março de 2008

[Resumo](#)[As Interacções](#)[Os Constituintes](#)[O Passado](#)[O Futuro: Teoria](#)[O Futuro: LHC](#)[O Futuro: Auger](#)[Aprender Mais](#)

- As Interacções Fundamentais
- Os Constituintes Elementares
 - ◆ Matéria
 - Leptões & Quarks
 - Bosão de Higgs
 - ◆ Campos de Gauge
 - Fóton, W^\pm e Z^0
- Sucessos passados (sobretudo recentes)
 - ◆ Porque somos feitos de matéria?
 - ◆ LEP, uma máquina de precisão.
 - ◆ O carácter Não Abelian, Liberdade Assimptótica e Unificação
- O futuro
 - ◆ LHC
 - ◆ Auger & ...

Resumo

As Interações

- Mapa
- Escalas
- Força
- Como Explicar?
- TC Modernas
- Simetrias Gauge
- Propriedades

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

Aprender Mais

Todos os processos que ocorrem no Universo têm por base somente 4 **Forças** ou **Interações** fundamentais.

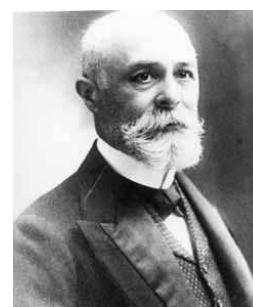
Força	Descoberta	Relevância
Gravitacional	Séc XVII	Corpos Macroscópicos
Electromagnética	Séc XIX	Estrutura Atómica
Fraca	Séc XX	Desintegração Radioactiva
Forte	Séc XX	Coesão dos Núcleos



Newton



Maxwell



Becquerel



Yukawa

Mapa das Interações

Illustration: Typoform

Resumo

As Interações

• Mapa

- Escalas
- Força
- Como Explicar?
- TC Modernas
- Simetrias Gauge
- Propriedades

Os Constituintes

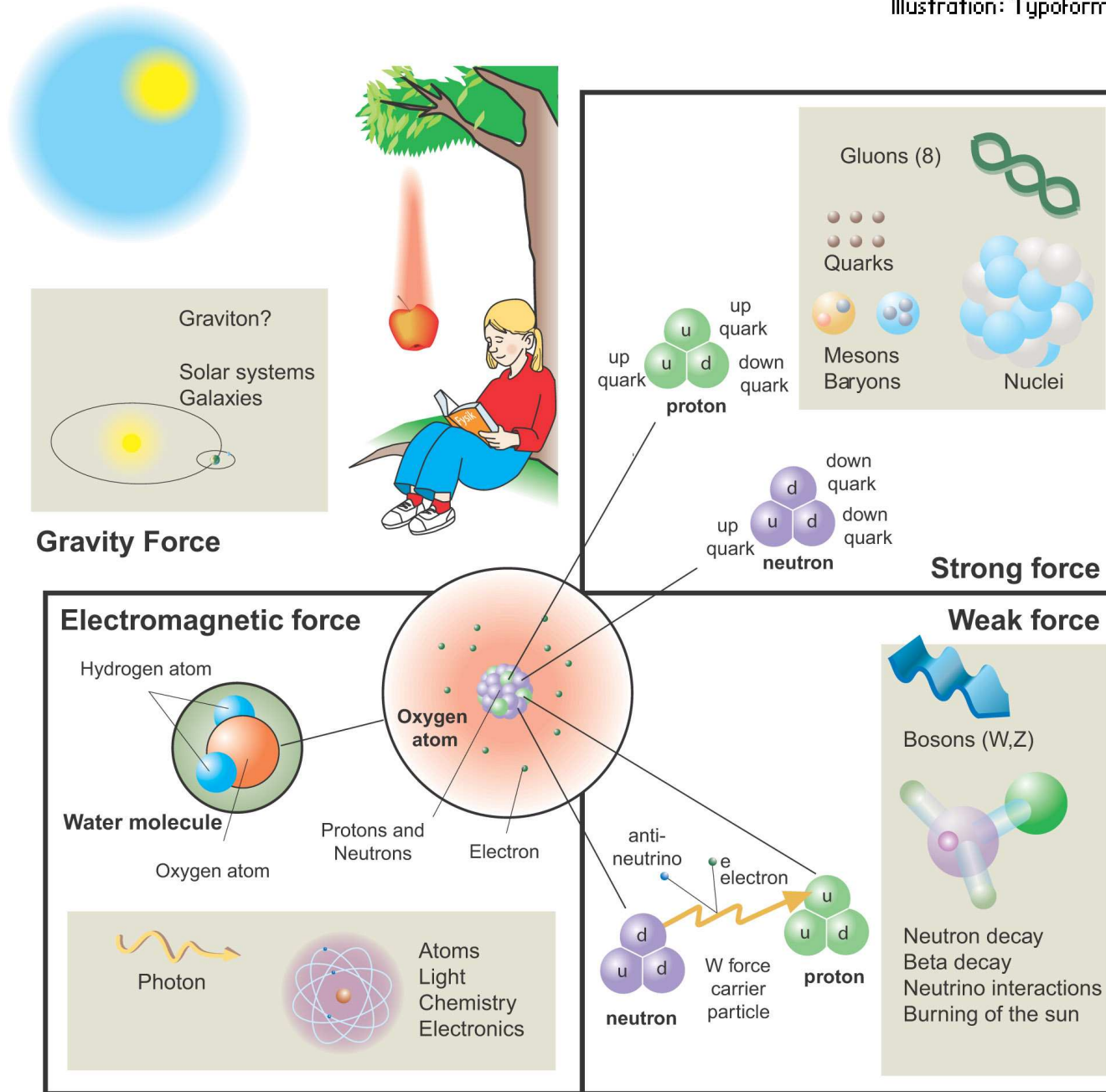
O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

Aprender Mais

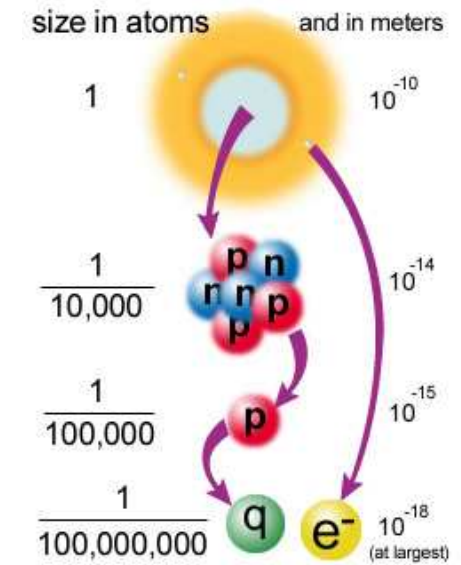


- Resumo
- As Interações
 - Mapa
 - Escalas
 - Força
 - Como Explicar?
 - TC Modernas
 - Simetrias Gauge
 - Propriedades
- Os Constituintes
- O Passado
- O Futuro: Teoria
- O Futuro: LHC
- O Futuro: Auger
- Aprender Mais

Princípio de Incerteza de Heisenberg

Para **ver** distâncias cada vez mais pequenas são necessárias **energias** cada vez maiores

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

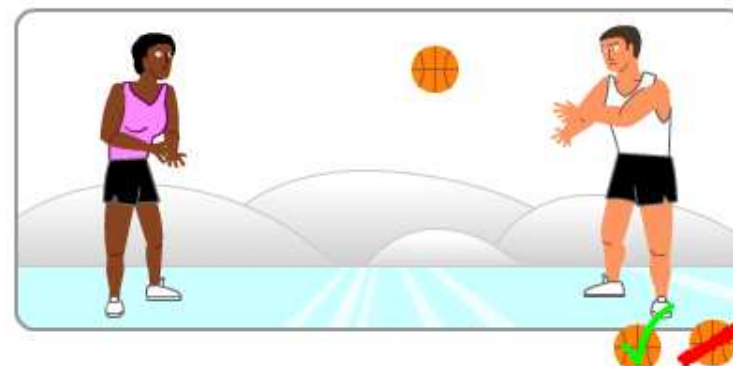
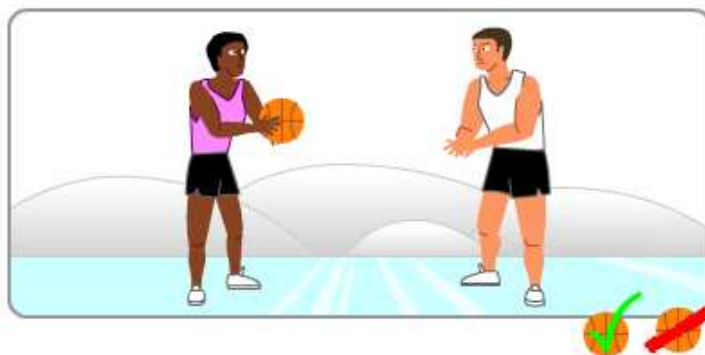


Escala	Energia	Relevância
$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$	$\sim 1 \text{ keV}$	Átomos e Moléculas (Raios X)
1 fermi = 10^{-15} m	$\sim 100 \text{ MeV}$	Núcleos (Pequenos Aceleradores)
10^{-18} m	$\sim 100 \text{ GeV}$	Distância mais pequena observada (LEP)

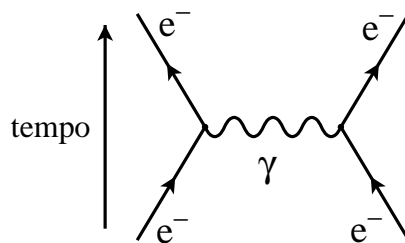
Modernamente o conceito de força é substituído pelo de interacção.

Mecânica Clássica
Electromagnetismo
Relatividade Restrita
Mecânica Quântica

Interacção instantanea (força)
Interacção através da noção de Campo
Não há interacções instantaneas
Interacções descritas por *troca* de partículas



Feynman



Resumo

As Interacções

- Mapa
- Escalas
- **Força**
- Como Explicar?
- TC Modernas
- Simetrias Gauge
- Propriedades

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

Aprender Mais

Resumo

As Interações

- Mapa
- Escalas
- Força
- Como Explicar?
- TC Modernas
- Simetrias Gauge
- Propriedades

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

Aprender Mais

Paradigma: O Electromagnetismo

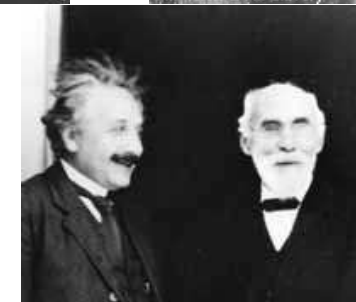
■ Faraday, Maxwell

- ◆ Conceito de campo
- ◆ Velocidade finita de propagação



■ Transformações de Lorentz

- ◆ Relatividade: Invariância, covariância ...



■ Primeira Unificação

Electromagnetismo \supset Electricidade + Magnetismo

■ Segunda Unificação

Electromagnetismo \supset Luz

Resumo

As Interações

- Mapa
- Escalas
- Força
- Como Explicar?

• **TC Modernas**

- Simetrias Gauge
- Propriedades

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

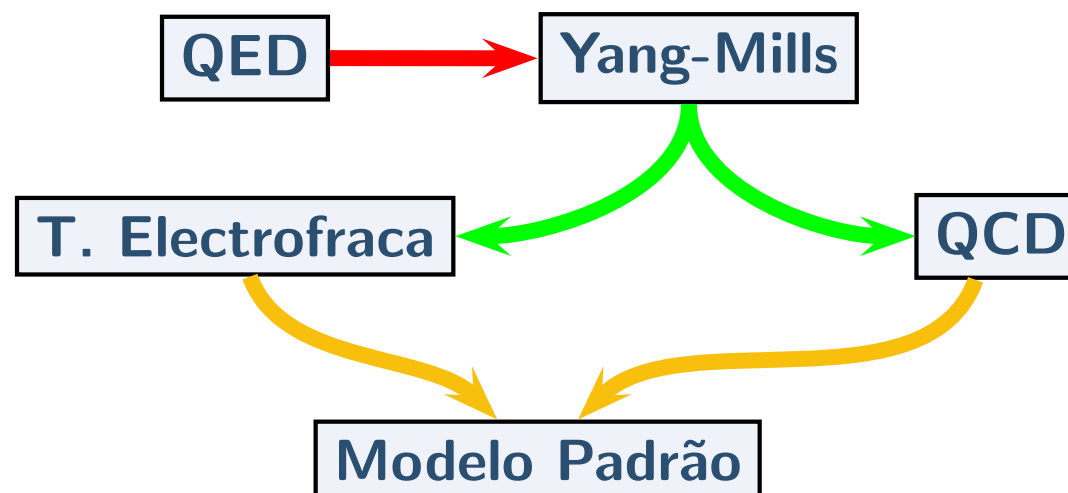
Aprender Mais

Os Ingredientes Fundamentais

- Relatividade Restrita
- Mecânica Quântica
- Simetrias de padrão (gauge)



Teoria Quântica dos Campos



Simetrias de Padrão (Gauge)

Resumo

As Interações

- Mapa
- Escalas
- Força
- Como Explicar?
- TC Modernas
- **Simetrias Gauge**
- Propriedades

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

Aprender Mais

Teorias Modernas \longleftrightarrow Simetrias de Gauge

Electromagnetismo V ou $V' = V + V_0 \rightarrow$ o mesmo \vec{E}

$$\begin{array}{ccccc}
 V & \xrightarrow{1} & V_1 & \xrightarrow{2} & V_{12} \\
 V & \xrightarrow{2} & V_2 & \xrightarrow{1} & V_{21}
 \end{array}$$

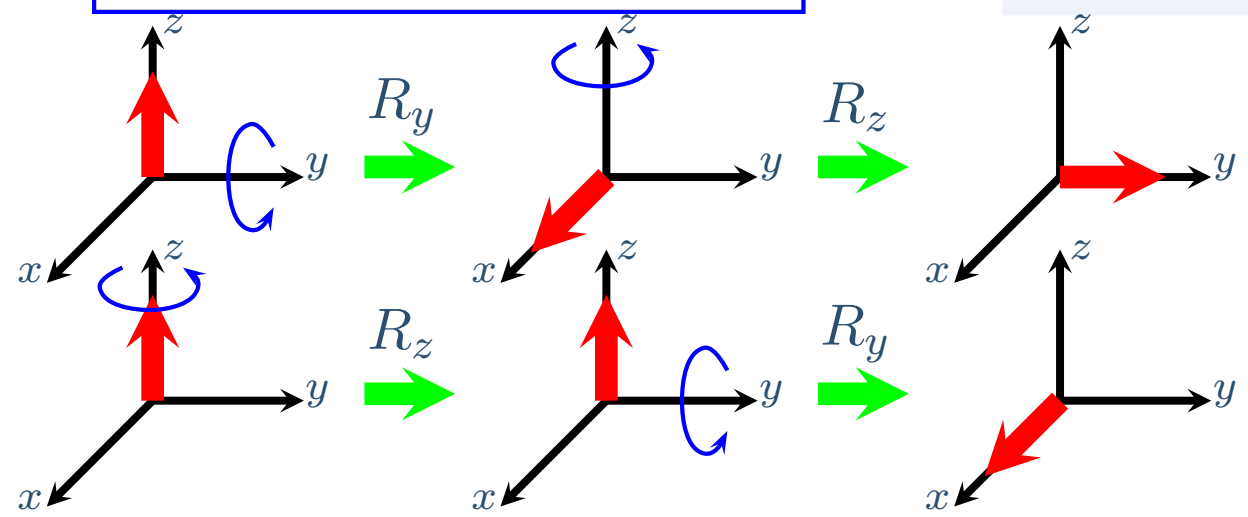
Grupo Abeliano
 $V_{12} = V_{21}$
 $2 + 3 = 3 + 2$



Weyl

Interacção Forte & Fraca

\rightarrow **Grupo Não Abeliano**



Yang & Mills

$R_y R_z \neq R_z R_y$

Propriedades Gerais das Interações

Resumo

As Interações

- Mapa
- Escalas
- Força
- Como Explicar?
- TC Modernas
- Simetrias Gauge
- **Propriedades**

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

Aprender Mais

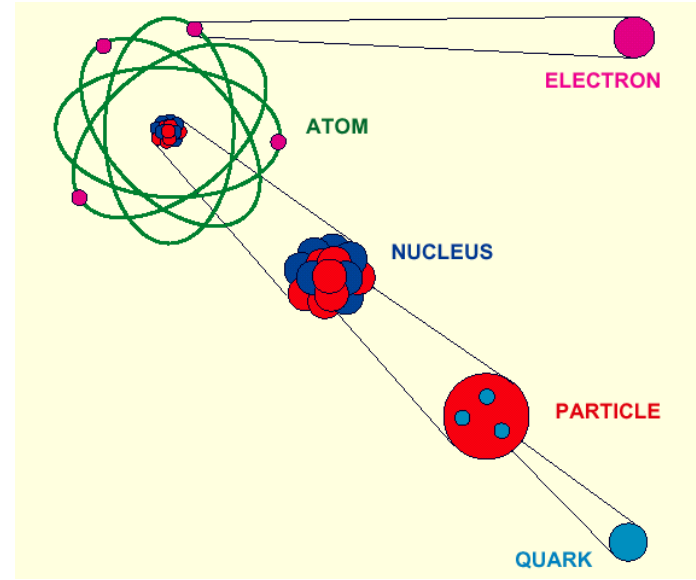
<i>Interação</i>	<i>Alcance</i>	<i>Intensidade</i>	<i>Portador</i>	<i>Massa</i>
Gravitacional	Infinito	10^{-40}	Gravitão	0
Fraca	$< 10^{-18}$ m	10^{-5}	W^+, W^-, Z^0	$\neq 0$
Electromagnética	Infinito	10^{-2}	fotão (γ)	0
Forte	$< 10^{-15}$ m	1	8 gluões	0

<i>Interação</i>	<i>Relativista</i>	<i>Quântica</i>	<i>Designação</i>
Gravitacional	Sim	Não	Relatividade Geral
Fraca	Sim	Sim	Teoria Electrofraca
Electromagnética	Sim	Sim	
Forte	Sim	Sim	Cromodinâmica Quântica

Modelo Padrão

- Resumo
- As Interações
- Os Constituintes**
 - Leptões
 - Neutrinos
 - Quarks
 - Hadrões
 - Higgs
 - Bosões de Gauge
 - Resumo
- O Passado
- O Futuro: Teoria
- O Futuro: LHC
- O Futuro: Auger
- Aprender Mais

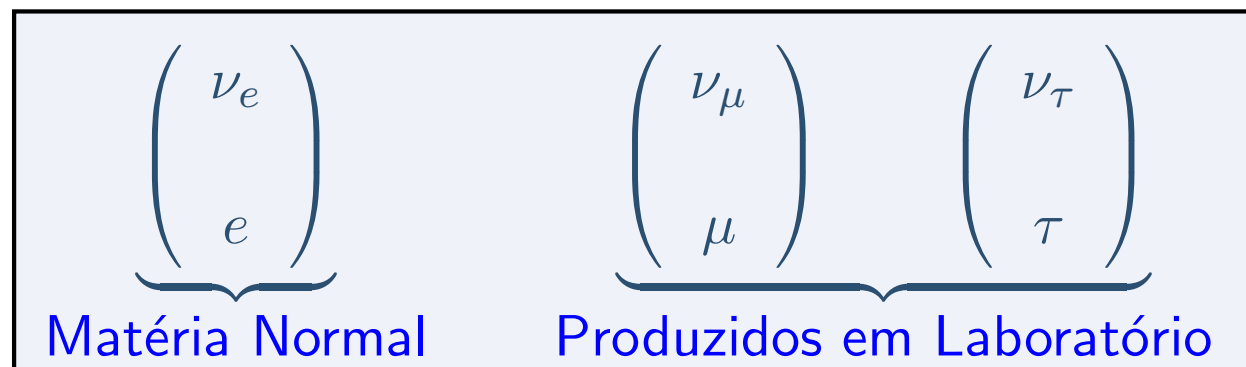
- **Matéria (Spin 0)**
 - ◆ Bosão de Higgs
- **Matéria (Spin 1/2)**
 - ◆ **Leptões: Só interacção electrofraca**
 - ◆ **Quarks: Interacção electrofraca e forte**
- **Portadores da Interação (Spin 1)**
 - ◆ **Bosões de gauge**



<i>Interação</i>	<i>Alcance</i>	<i>Intensidade</i>	<i>Portador</i>	<i>Massa</i>
Fraca	$< 10^{-18}$ m	10^{-5}	W^+, W^-, Z^0	$\neq 0$
Electromagnética	Infinito	10^{-2}	fotão (γ)	0
Forte	$< 10^{-15}$ m	1	8 gluões	0

- [Resumo](#)
- [As Interações](#)
- [Os Constituintes](#)
 - **Leptões**
 - Neutrinos
 - Quarks
 - Hadrões
 - Higgs
 - Bosões de Gauge
 - Resumo
- [O Passado](#)
- [O Futuro: Teoria](#)
- [O Futuro: LHC](#)
- [O Futuro: Auger](#)
- [Aprender Mais](#)

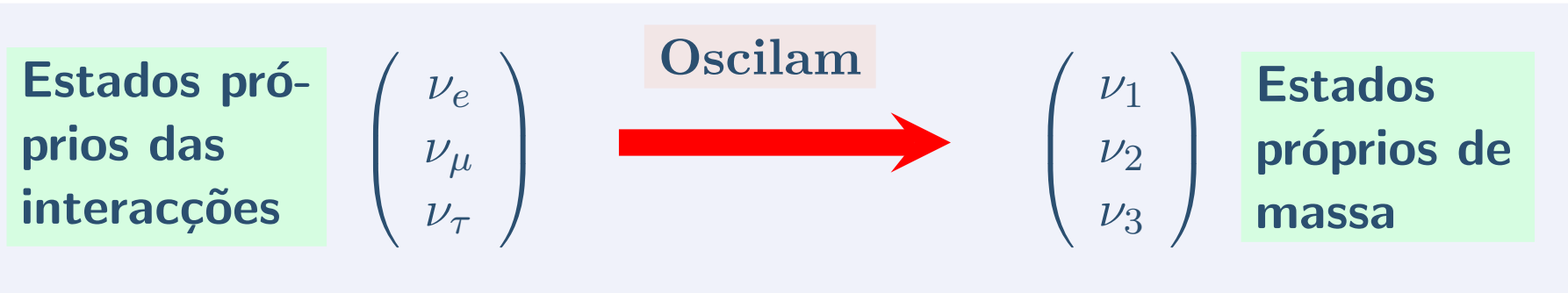
- Os leptões têm só interacção electrofraca.
- Quais são os leptões? Os mais conhecidos são o electrão e o neutrino.
- Mas a Natureza apresenta uma repetição que não sabemos explicar.



- $m_\tau = 3484 \times m_e, m_\mu = 212 \times m_e$

LEP: Número de neutrinos leves: 2.994 ± 0.012

- Resumo
- As Interações
- Os Constituintes
 - Leptões
 - **Neutrinos**
 - Quarks
 - Hadrões
 - Higgs
 - Bosões de Gauge
 - Resumo
- O Passado
- O Futuro: Teoria
- O Futuro: LHC
- O Futuro: Auger
- Aprender Mais



■ Neutrinos do Sol

Em cada segundo passam através de nós 100000000000000 = 10^{14} neutrinos vindos do Sol!

$$R = \frac{N_{\nu_e}^{Exp}}{N_{\nu_e}^{\odot}} \simeq \frac{1}{2}$$

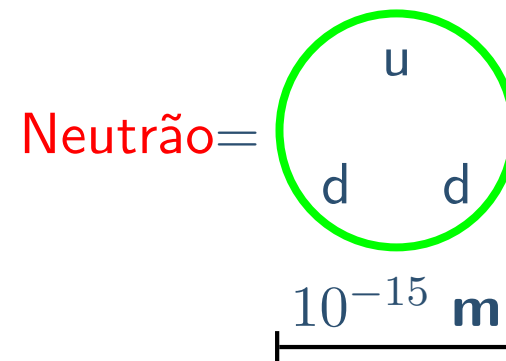
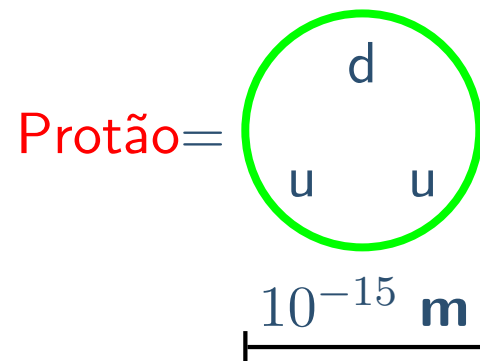
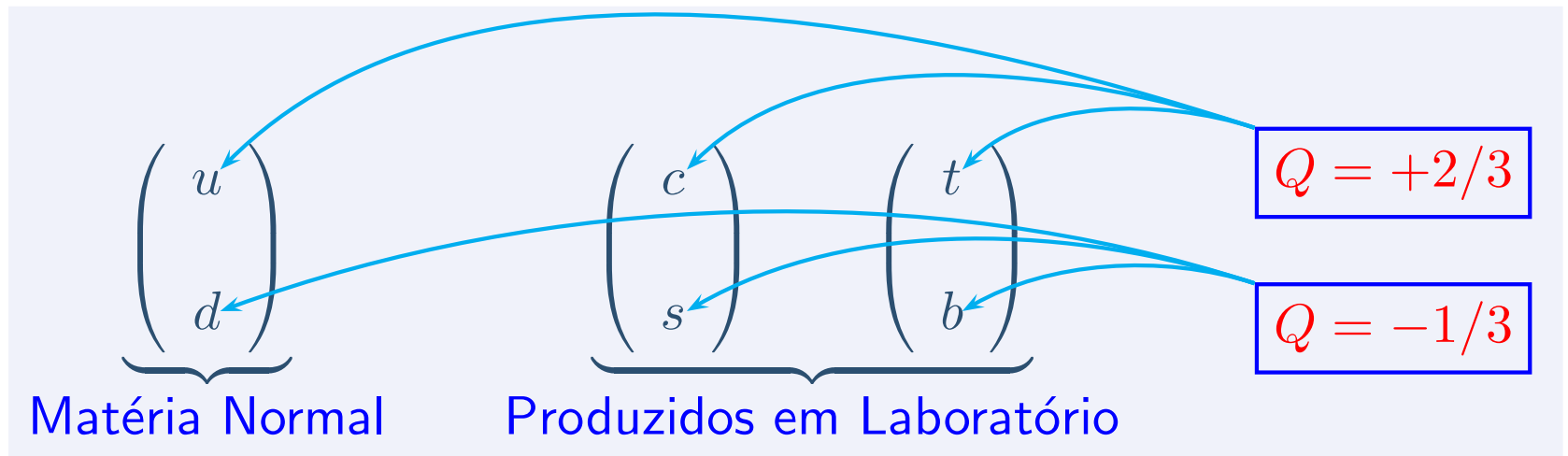
■ Neutrinos atmosféricos

$$R = \frac{N_{\nu_\mu}^{Exp} / N_{\nu_e}^{Exp}}{N_{\nu_\mu}^{Theory} / N_{\nu_e}^{Theory}} \simeq 0.6$$

- ◆ Só têm interações fracas
- ◆ Neutrinos têm massa
- ◆ Neutrinos misturam-se
- ◆ É preciso Física para além do Modelo Padrão

Prémio Nobel de 2002

Quais são os quarks? Tanto quanto se sabe hoje há **seis** espécies diferentes. Verifica-se a mesma repetição que no caso dos leptões:



- Resumo
- As Interações
- Os Constituintes
 - Leptões
 - Neutrinos
 - **Quarks**
 - Hadrões
 - Higgs
 - Bosões de Gauge
 - Resumo
- O Passado
- O Futuro: Teoria
- O Futuro: LHC
- O Futuro: Auger
- Aprender Mais

Resumo

As Interações

Os Constituintes

- Leptões
- Neutrinos
- Quarks
- **Hadrões**
- Higgs
- Bosões de Gauge
- Resumo

O Passado

O Futuro: Teoria

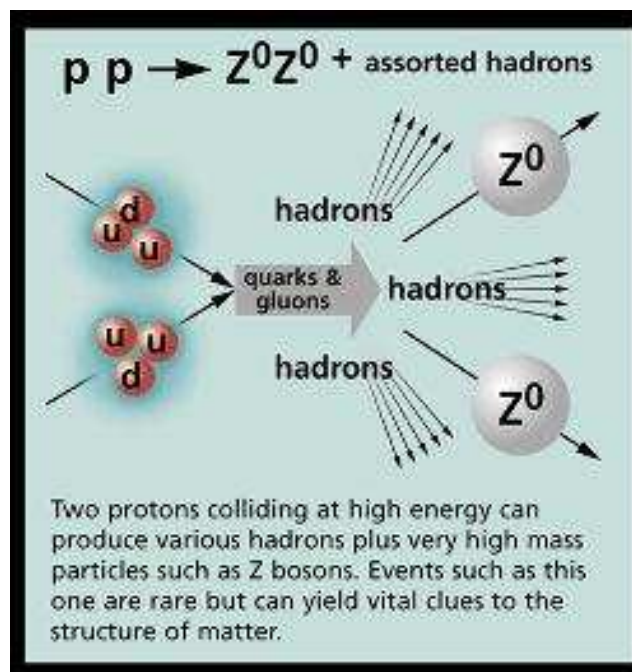
O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

Aprender Mais

Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons					
These are a few of the many types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.776	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons.					
These are a few of the many types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	antiproton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2



Resumo

As Interações

Os Constituintes

- Leptões
- Neutrinos
- Quarks
- Hadrões
- **Higgs**
- Bosões de Gauge
- Resumo

O Passado

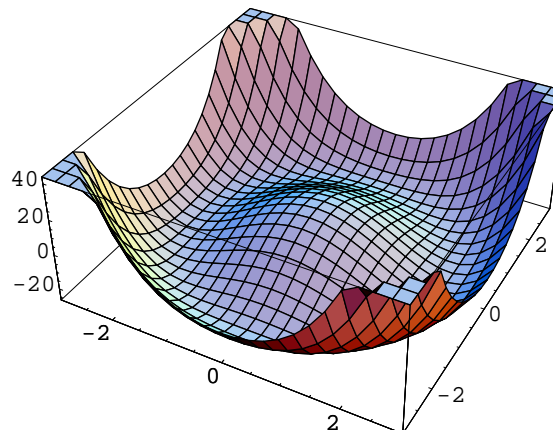
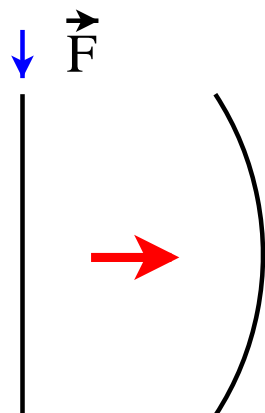
O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

Aprender Mais

Quebra espontânea de simetria



T. de Goldstone:
Há uma partícula
sem massa

T. de Goldstone + **Simetria de Gauge** = **Mecanismo de Higgs**



Modelo Padrão

- Campos de Gauge adquirem massa
- Um bosão de Higgs é uma partícula real

Prémio Nobel de 1979

O Modelo Padrão tem o grupo de simetria G :

$$G = SU(2)_L \otimes U(1)_Y \otimes SU(3)_c$$

Bosões de gauge sem massa:

Grupo	$SU(2)_L$	$U(1)_Y$	$SU(3)_c$
Bosão de Gauge	$A^{1,2,3}$	B	$G^{1,2,\dots,8}$



Glashow



Weinberg



Salam

Mecanismo de Higgs:

$$\begin{array}{l}
 A^{1,2,3} + B \rightarrow \left\{ \begin{array}{ll} W^+, W^- & M_W = 80.4 \text{ GeV}/c^2 \\ Z^0 & M_Z = 91.2 \text{ GeV}/c^2 \\ \gamma & M_\gamma = 0 \end{array} \right. \\
 G^{1,2,\dots,8} \rightarrow \left\{ \begin{array}{ll} g^{1,2,\dots,8} & M_g = 0 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Resumo

As Interações

Os Constituintes

- Leptões
- Neutrinos
- Quarks
- Hadrões
- Higgs
- **Bosões de Gauge**
- Resumo

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

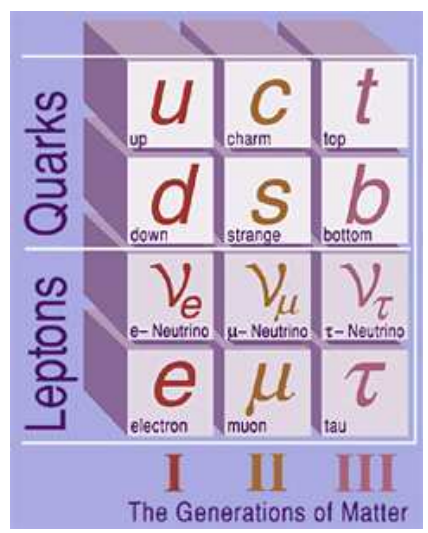
O Futuro: Auger

Aprender Mais

- [Resumo](#)
- [As Interações](#)
- [Os Constituintes](#)
- Leptões
- Neutrinos
- Quarks
- Hadrões
- Higgs
- Bosões de Gauge
- **Resumo**
- [O Passado](#)
- [O Futuro: Teoria](#)
- [O Futuro: LHC](#)
- [O Futuro: Auger](#)
- [Aprender Mais](#)



Properties of the Interactions				
The strengths of the interactions (forces) are shown relative to the strength of the electromagnetic force for two u quarks separated by the specified distances.				
Property	Gravitational Interaction	Weak Interaction (Electroweak)	Electromagnetic Interaction	Strong Interaction
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically Charged	Quarks, Gluons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons
Strength at $\left\{ \begin{array}{l} 10^{-18} \text{ m} \\ 3 \times 10^{-17} \text{ m} \end{array} \right.$	10^{-41} 10^{-41}	0.8 10^{-4}	1 1	25 60



[Resumo](#)

[As Interações](#)

[Os Constituintes](#)

[O Passado](#)

- Violação CP
- Modelo Padrão
- Precisão LEP
- L. Assimptótica
- Unificação

[O Futuro: Teoria](#)

[O Futuro: LHC](#)

[O Futuro: Auger](#)

[Aprender Mais](#)

- Porque somos feitos de matéria?
- LEP, uma máquina de precisão.
- A estrutura do Modelo Padrão:
 - ◆ Liberdade Assimptótica
 - ◆ Unificação

Resumo

As Interações

Os Constituintes

O Passado

● Violação CP

● Modelo Padrão

● Precisão LEP

● L. Assimptótica

● Unificação

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

Aprender Mais

Assimetria Bariónica do Universo

- No início do Universo havia iguais quantidades de matéria e anti-matéria.
- Porque é que não se aniquilou tudo, produzindo só radiação (fotões)?
- Como explicar o número actual $\frac{n_B}{n_\gamma} \simeq 10^{-10}$?

Condições para Bariogénese



Sakharov

- Número Bariónico não conservado
- Situação de não equilíbrio
- Violação de CP



Resumo

As Interações

Os Constituintes

O Passado

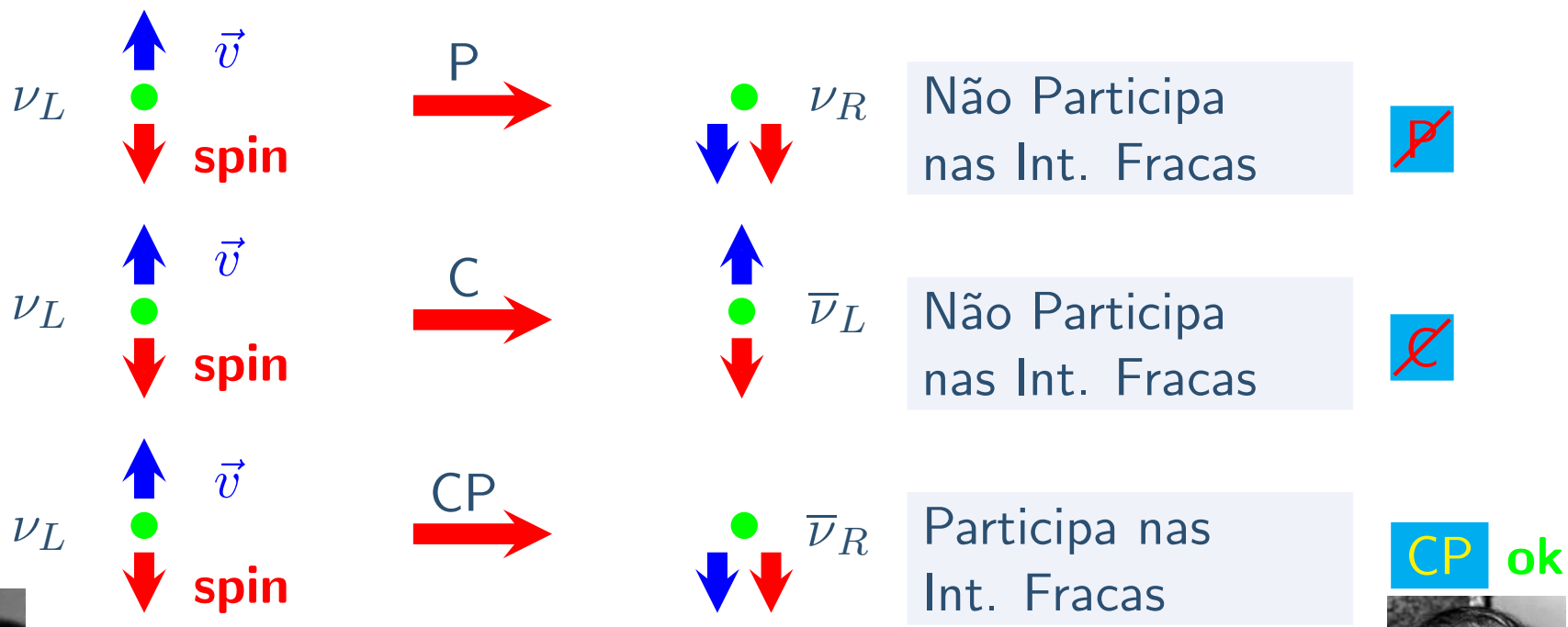
- Violação CP
- Modelo Padrão
- Precisão LEP
- L. Assimptótica
- Unificação

O Futuro: Teoria

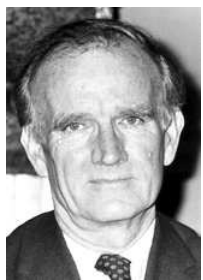
O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

Aprender Mais

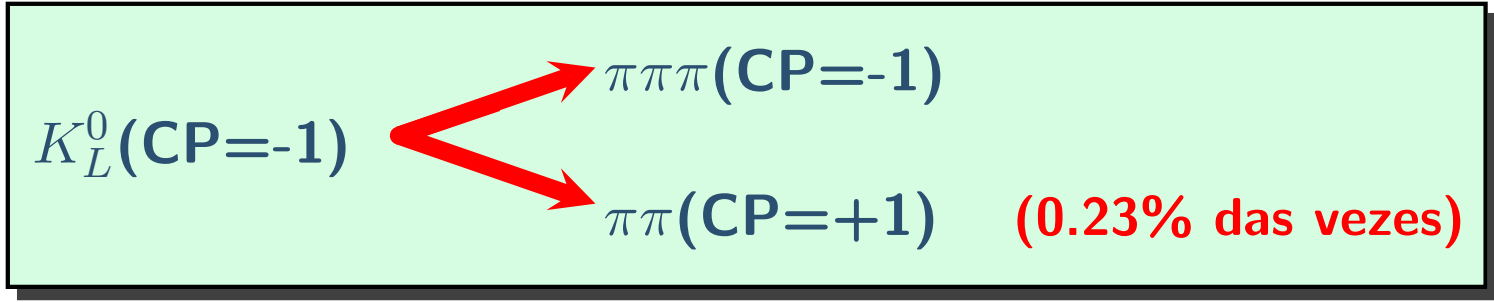


Cronin



Fitch

Mas em 1964 Cronin & Fitch (Prémio Nobel 1980)



Resumo

As Interações

Os Constituintes

O Passado

• Violação CP

• **Modelo Padrão**

• Precisão LEP

• L. Assimptótica

• Unificação

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

Aprender Mais

- O Modelo Padrão: Teoria Electrofraca de Glashow- Weinberg-Salam (Prémio Nobel de 1979) mais a Cromodinâmica Quântica (QCD)



Glashow Weinberg Salam

1979

- **Avanços do lado teórico:** Prova da renormalização (Prémio Nobel de 1999) e liberdade assimptótica (Prémio Nobel de 2004).



't Hooft Veltman

1999



Gross Politzer Wilczek

2004

- **Avanços do lado experimental:** Descoberta das correntes neutras (CERN 1973), descoberta do W^\pm e do Z^0 (CERN 1983, Prémio Nobel de 1984), resultados do LEP (CERN 1989-2000).



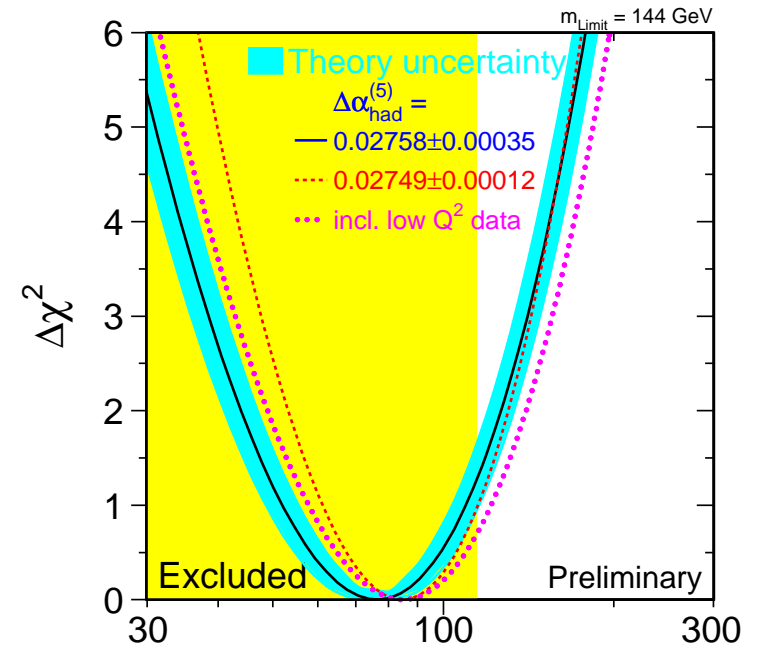
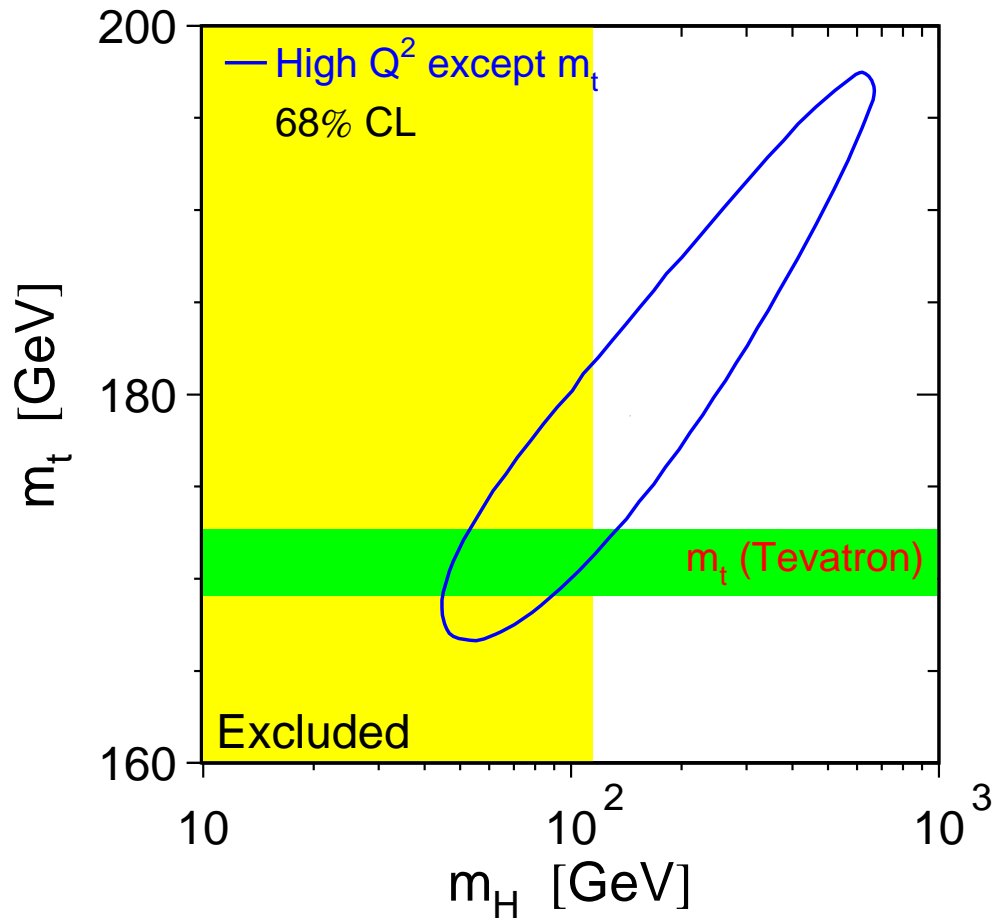
Rubbia Van der Meer

1984

Conduziram hoje a uma situação em que este modelo está testado ao nível de 0.1%.

Exemplo da Precisão no LEP (CERN)

- Resumo
- As Interações
- Os Constituintes
- O Passado
 - Violação CP
 - Modelo Padrão
 - **Precisão LEP**
 - L. Assimptótica
 - Unificação
- O Futuro: Teoria
- O Futuro: LHC
- O Futuro: Auger
- Aprender Mais



$$M_H = 114_{-45}^{+69} \text{ GeV}$$

$$M_H < 260 \text{ GeV @ } 95\%CL$$

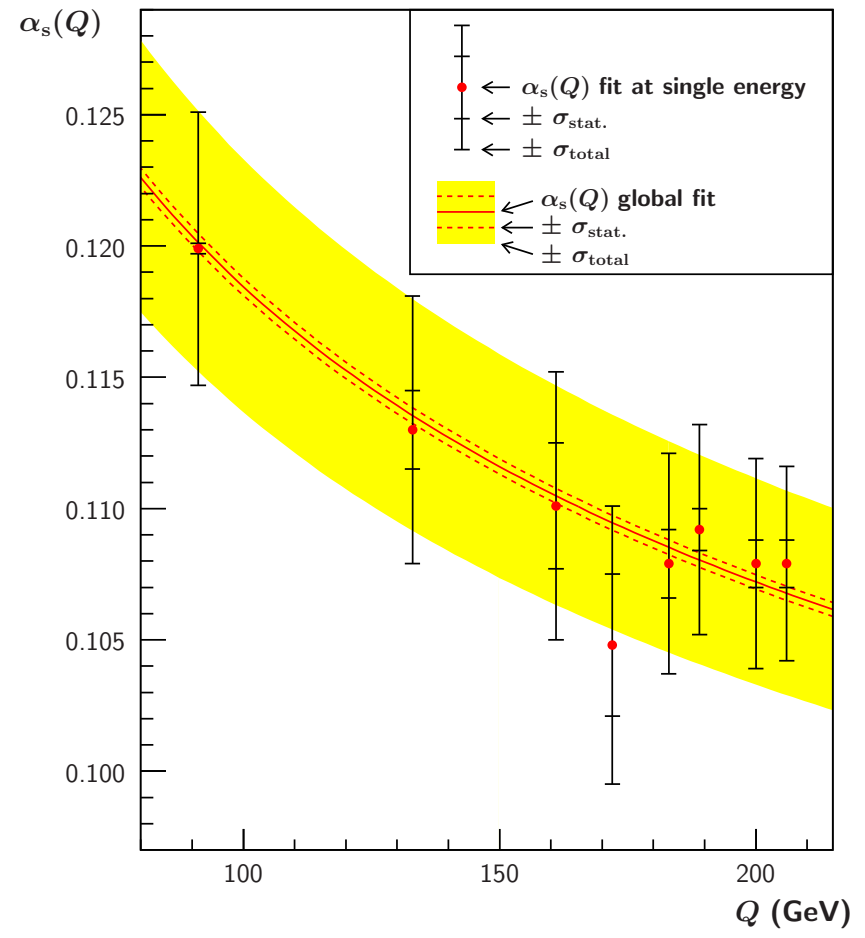
$$M_H > 114.4 \text{ GeV}$$

- Resumo
- As Interações
- Os Constituintes
- O Passado
 - Violação CP
 - Modelo Padrão
 - Precisão LEP
 - **L. Assimptótica**
 - Unificação
- O Futuro: Teoria
- O Futuro: LHC
- O Futuro: Auger
- Aprender Mais

Liberdade Assimptótica: Gross, Wilczek & Politzer mostraram que a energias elevadas as interacções fortes tornam-se fracas (Prémio Nobel 2004).

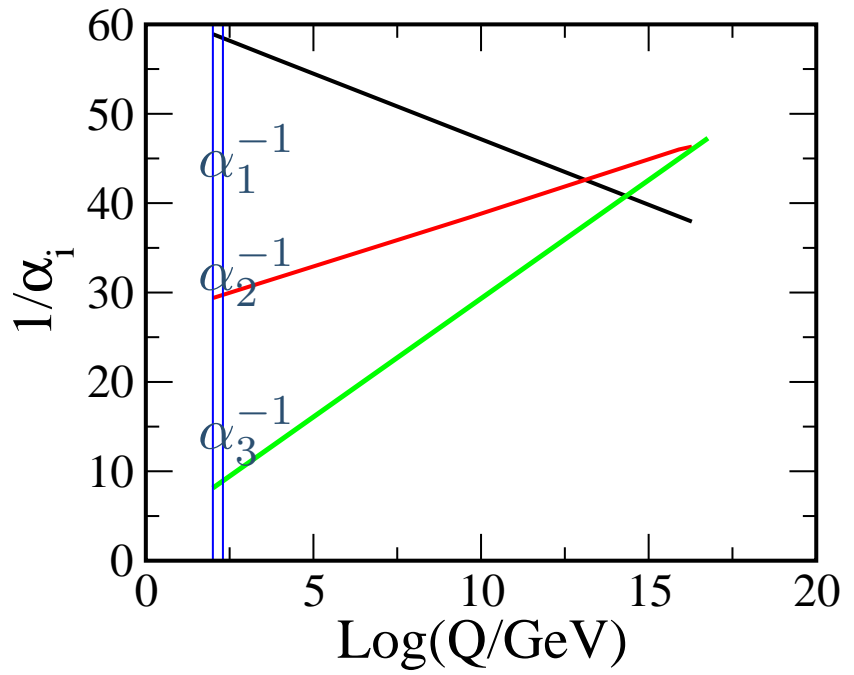


LEP QCD
Working Group

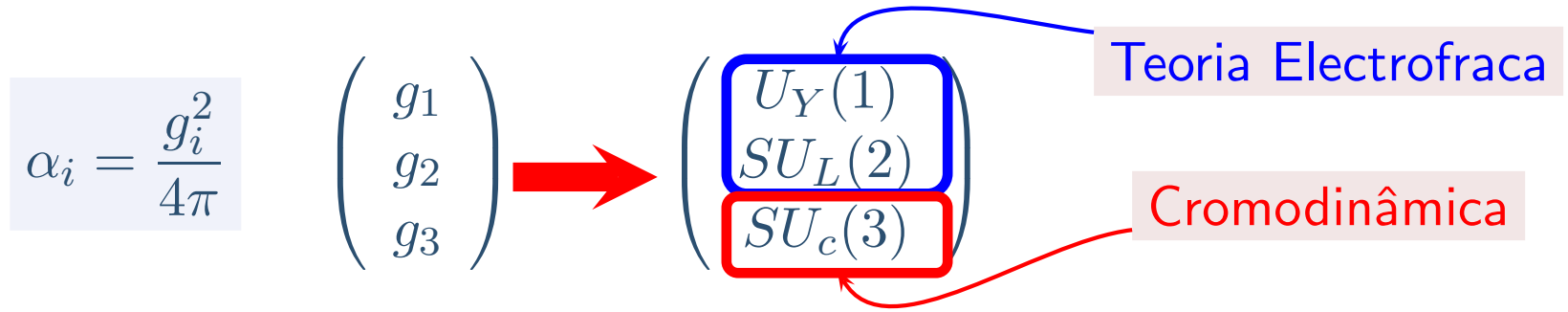
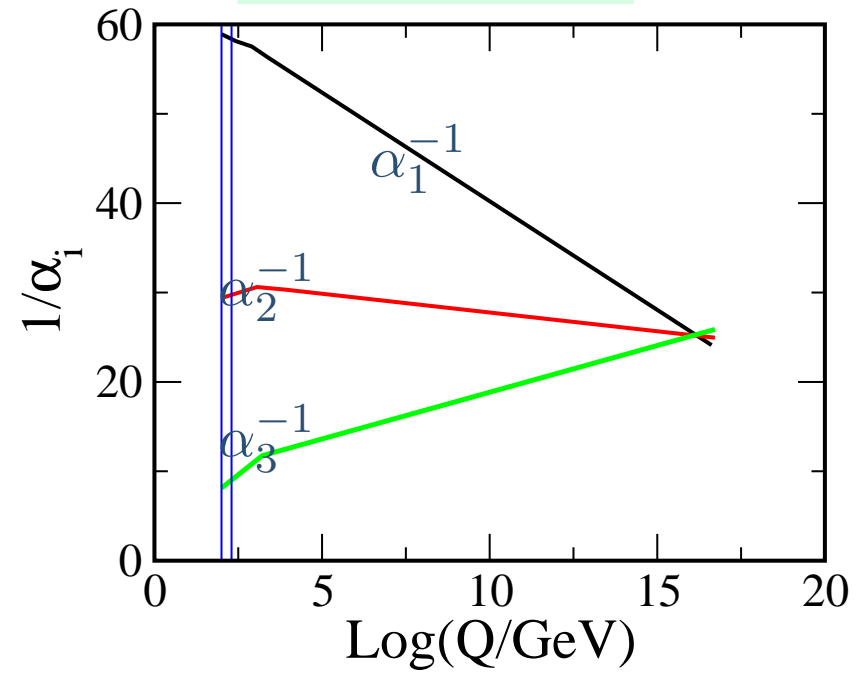


- Resumo
- As Interações
- Os Constituintes
- O Passado
 - Violação CP
 - Modelo Padrão
 - Precisão LEP
 - L. Assimptótica
 - Unificação
- O Futuro: Teoria
- O Futuro: LHC
- O Futuro: Auger
- Aprender Mais

Modelo Padrão



Supersimetria

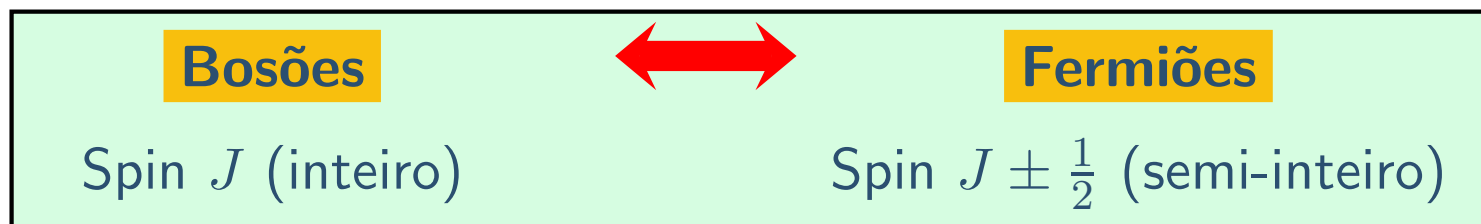


[Resumo](#)[As Interações](#)[Os Constituintes](#)[O Passado](#)[O Futuro: Teoria](#)[• As Teorias](#)[O Futuro: LHC](#)[O Futuro: Auger](#)[Aprender Mais](#)

■ Neutrinos

- ◆ Simetrias de sabor. Leptogénese.

■ Supersimetria



■ Modelos compostos

- ◆ Fermiões excitados

■ Outros modelos exóticos

- ◆ Gravidade em dimensões extra
- ◆ Leptoquarks
- ◆ Partículas previstas por modelos de **Tecnicor**

■ Gravitação

- ◆ Supercordas

LHC: Large Hadron Collider (Colisionador de Hadrões)

Resumo

As Interações

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

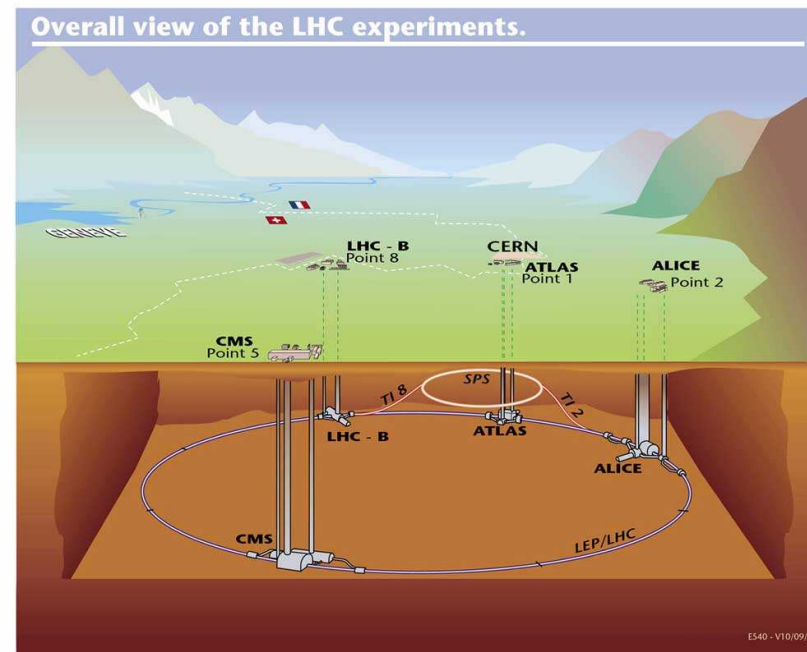
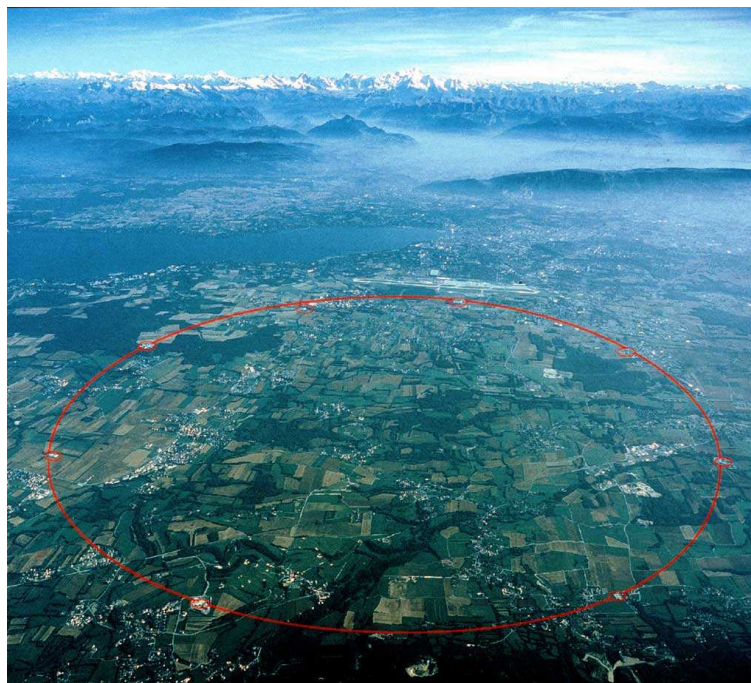
O Futuro: LHC

● O Sítio

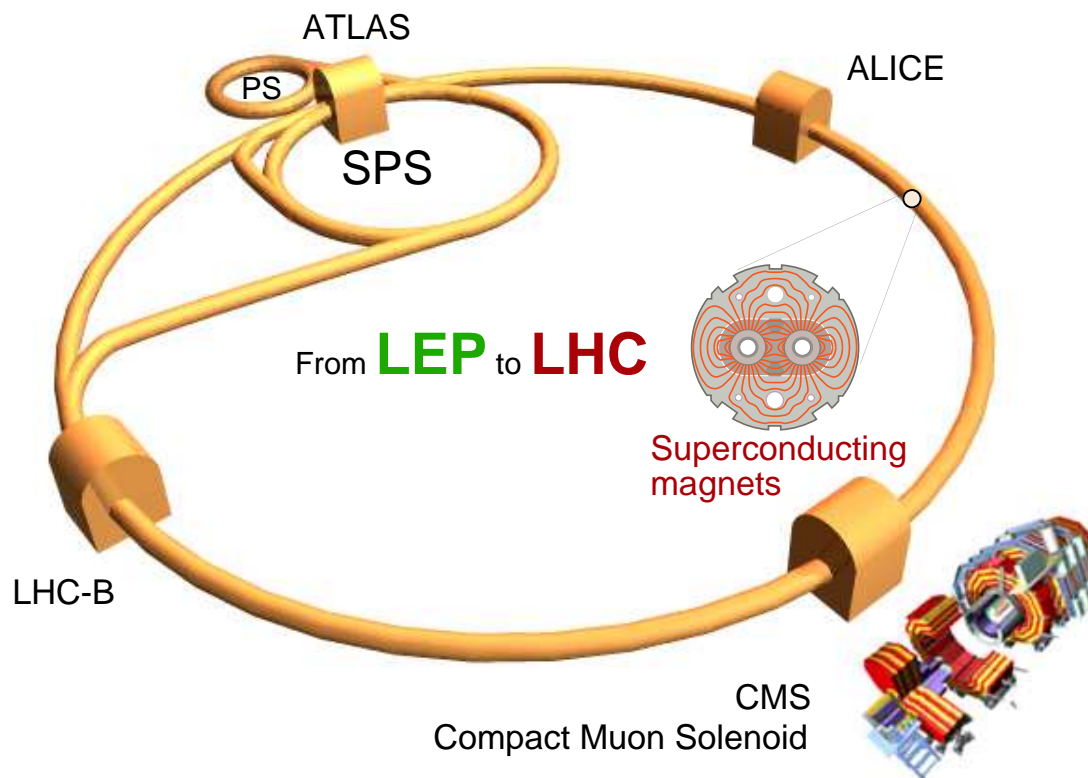
- O Acelerador
- Energia do LHC
- Um Detector
- Física Básica
- H: 2 fotões
- H: 4 Leptões
- Supersimetria

O Futuro: Auger

Aprender Mais



The Large Hadron Collider (LHC)



	Beams	Energy	Luminosity
LEP	e+ e-	200 GeV	$10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
LHC	p p	14 TeV	10^{34}
	Pb Pb	1312 TeV	10^{27}

Resumo

As Interações

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

• O Sítio

• O Acelerador

• Energia do LHC

• Um Detector

• Física Básica

• H: 2 fotões

• H: 4 Leptões

• Supersimetria

O Futuro: Auger

Aprender Mais

Resumo

As Interações

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

- O Sítio
- O Acelerador
- **Energia do LHC**
- Um Detector
- Física Básica
- H: 2 fotões
- H: 4 Leptões
- Supersimetria

O Futuro: Auger

Aprender Mais

O LHC acelera 3×10^{14} protões a velocidades de 99.999999999% da velocidade da luz. A energia desse feixe corresponde a uma manada de 1000 elefantes deslocando-se a 30 m/s (108 km/hora) ou a $3\mu\text{g}$ de anti-matéria.



[Resumo](#)[As Interações](#)[Os Constituintes](#)[O Passado](#)[O Futuro: Teoria](#)[O Futuro: LHC](#)

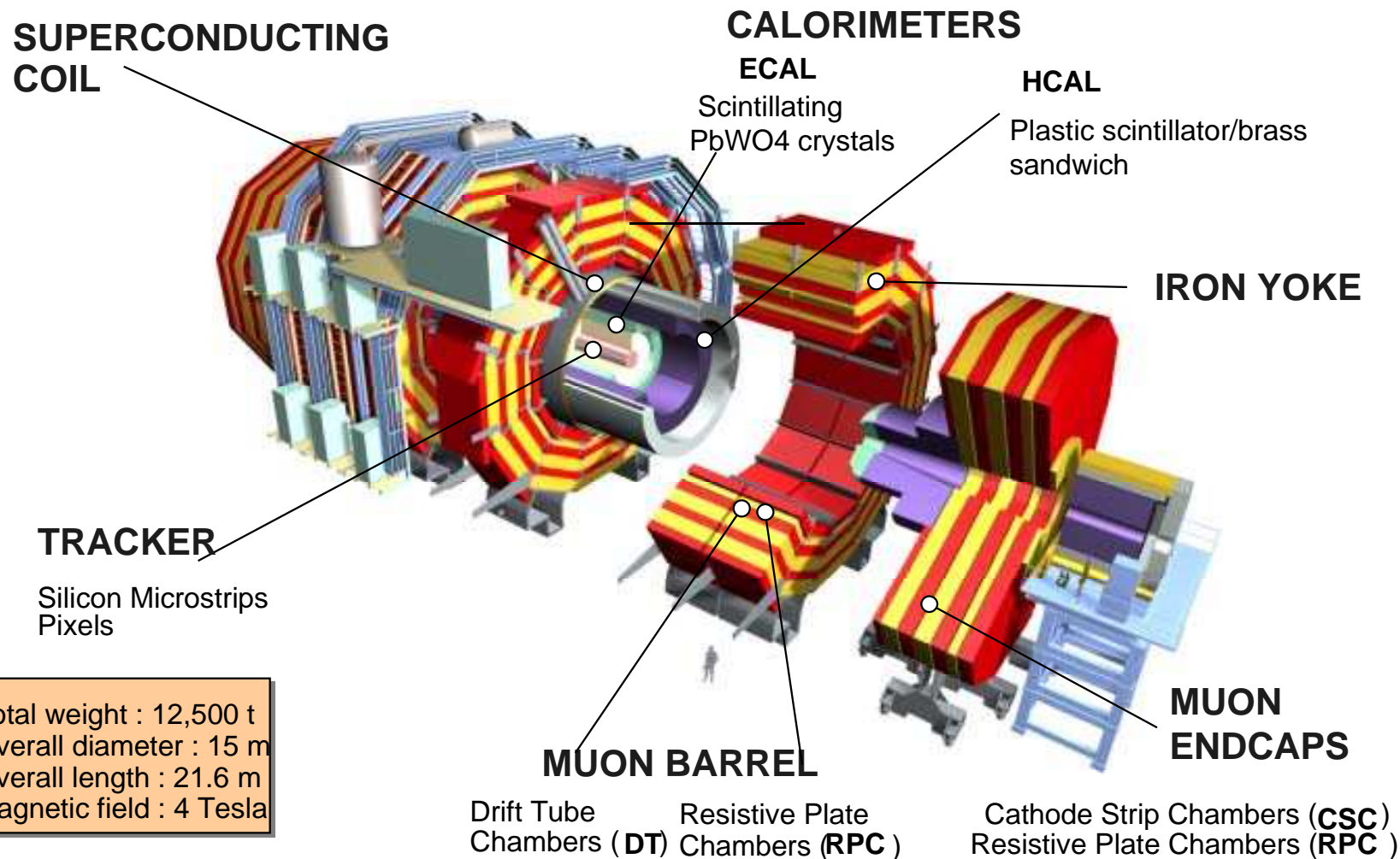
- O Sítio
- O Acelerador
- Energia do LHC

[● Um Detector](#)

- Física Básica
- H: 2 fotões
- H: 4 Leptões
- Supersimetria

[O Futuro: Auger](#)[Aprender Mais](#)

The CMS Detector



Resumo

As Interações

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

- O Sítio
- O Acelerador
- Energia do LHC
- Um Detector

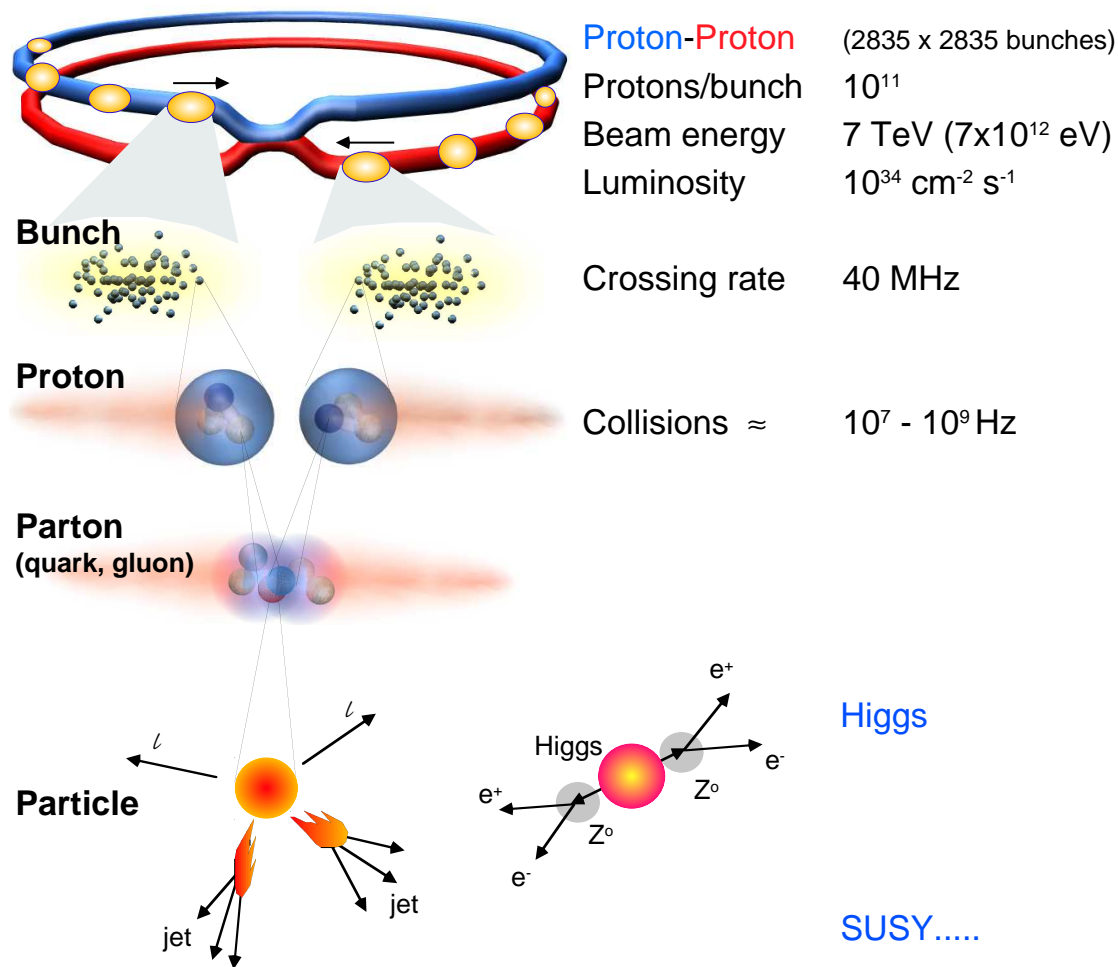
● Física Básica

- H: 2 fotões
- H: 4 Leptões
- Supersimetria

O Futuro: Auger

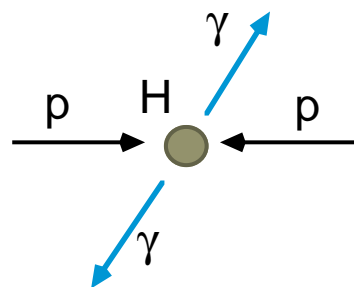
Aprender Mais

Collisions at LHC

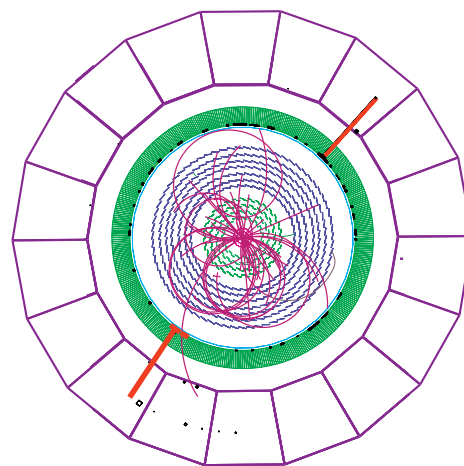


Selection of 1 in 10,000,000,000,000

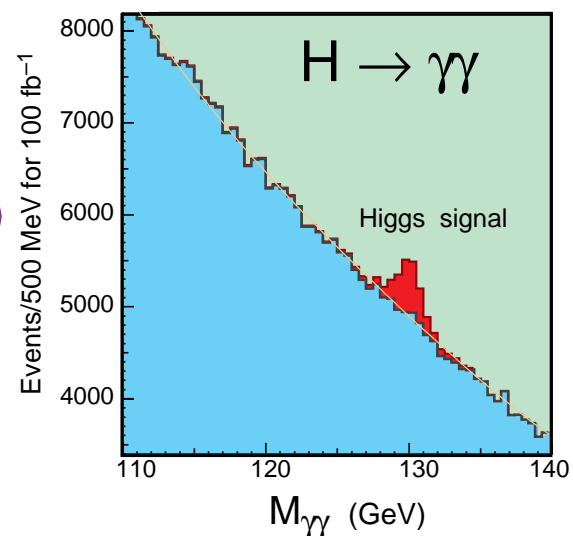
Higgs to 2 photons ($M_H < 140$ GeV)



$H^0 \rightarrow \gamma\gamma$ is the most promising channel if M_H is in the range 80 – 140 GeV. The high performance PbWO_4 crystal electromagnetic calorimeter in CMS has been optimized for this search. The $\gamma\gamma$ mass resolution at $M_{\gamma\gamma} \sim 100$ GeV is better than 1%, resulting in a S/B of $\approx 1/20$



$M_{\text{Higgs}} = 100$ GeV



Resumo

As Interações

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

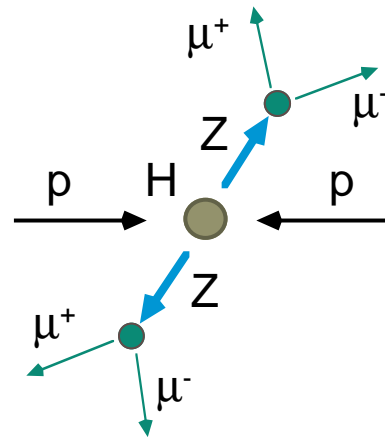
O Futuro: LHC

- O Sítio
- O Acelerador
- Energia do LHC
- Um Detector
- Física Básica
- H: 2 fotões
- H: 4 Leptões
- Supersimetria

O Futuro: Auger

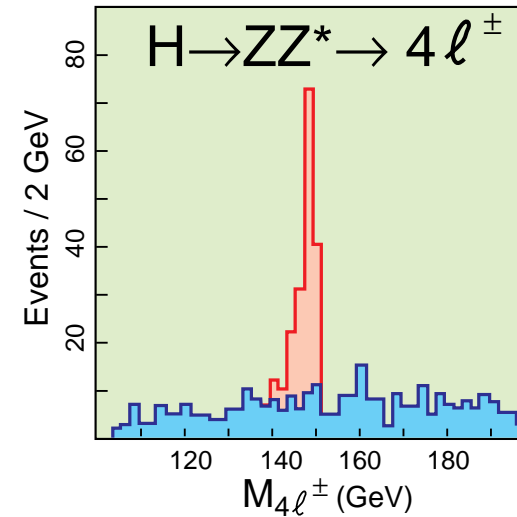
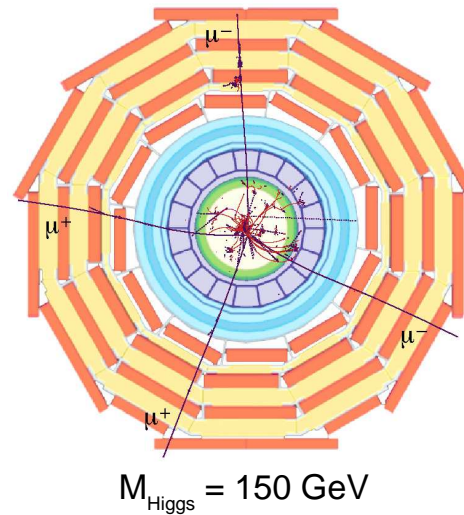
Aprender Mais

Higgs to 4 leptons ($140 < M_H < 700 \text{ GeV}$)



In the M_H range 130 - 700 GeV the most promising channel is $H^0 \rightarrow ZZ^* \rightarrow 2\ell^+ 2\ell^-$ or $H^0 \rightarrow ZZ \rightarrow 2\ell^+ 2\ell^-$. The detection relies on the excellent performance of the muon chambers, the tracker and the electromagnetic calorimeter.

For $M_H \leq 170 \text{ GeV}$ a mass resolution of $\sim 1 \text{ GeV}$ should be achieved with the combination of the 4 Tesla magnetic field and the high resolution of the crystal calorimeter



Resumo

As Interações

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

- O Sítio
- O Acelerador
- Energia do LHC
- Um Detector
- Física Básica
- H: 2 fótons
- H: 4 Leptões
- Supersimetria

O Futuro: Auger

Aprender Mais

Sparticles

Resumo

As Interações

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

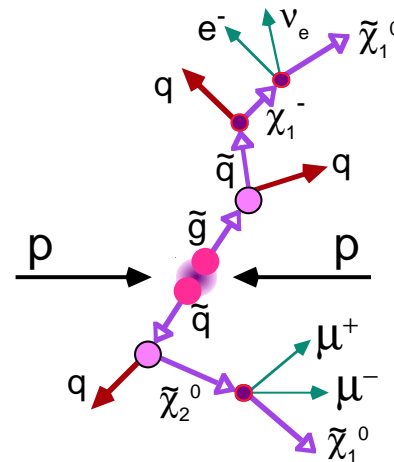
O Futuro: LHC

- O Sítio
- O Acelerador
- Energia do LHC
- Um Detector
- Física Básica
- H: 2 fotões
- H: 4 Leptões

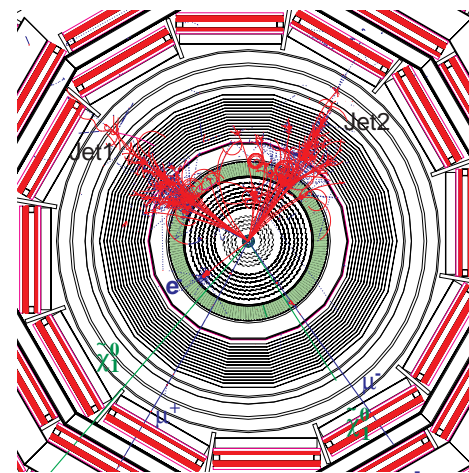
● Supersimetria

O Futuro: Auger

Aprender Mais

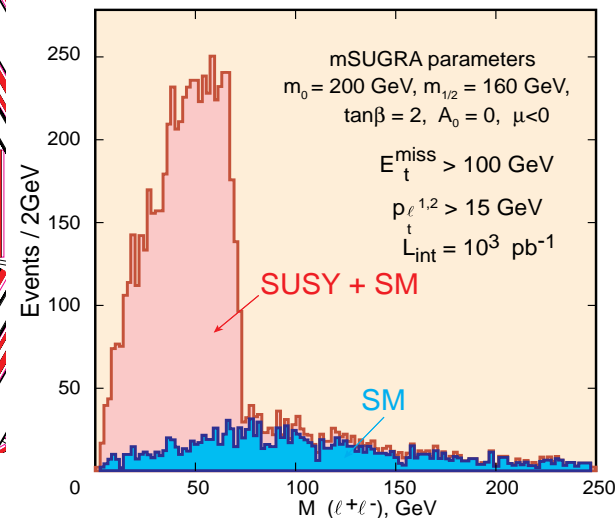


Production of sparticles may reveal itself through some spectacular kinematical spectra, with a pronounced "edge" in the l^+l^- mass spectrum reflecting $\chi_2^0 \rightarrow l^+l^- \chi_1^0$ production and decay. An example of such a spectrum in inclusive $l^+l^- + E_t^{\text{miss}}$ and of a $3l^\pm$ production event are shown below



SUSY event with
3 leptons + 2 Jets signature

Inclusive $l^+l^- + E_t^{\text{miss}}$ final states



Resumo

As Interacções

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

● O Mapa

● O Método

● A Experiência

● Os Detectores

● A Origem

Aprender Mais

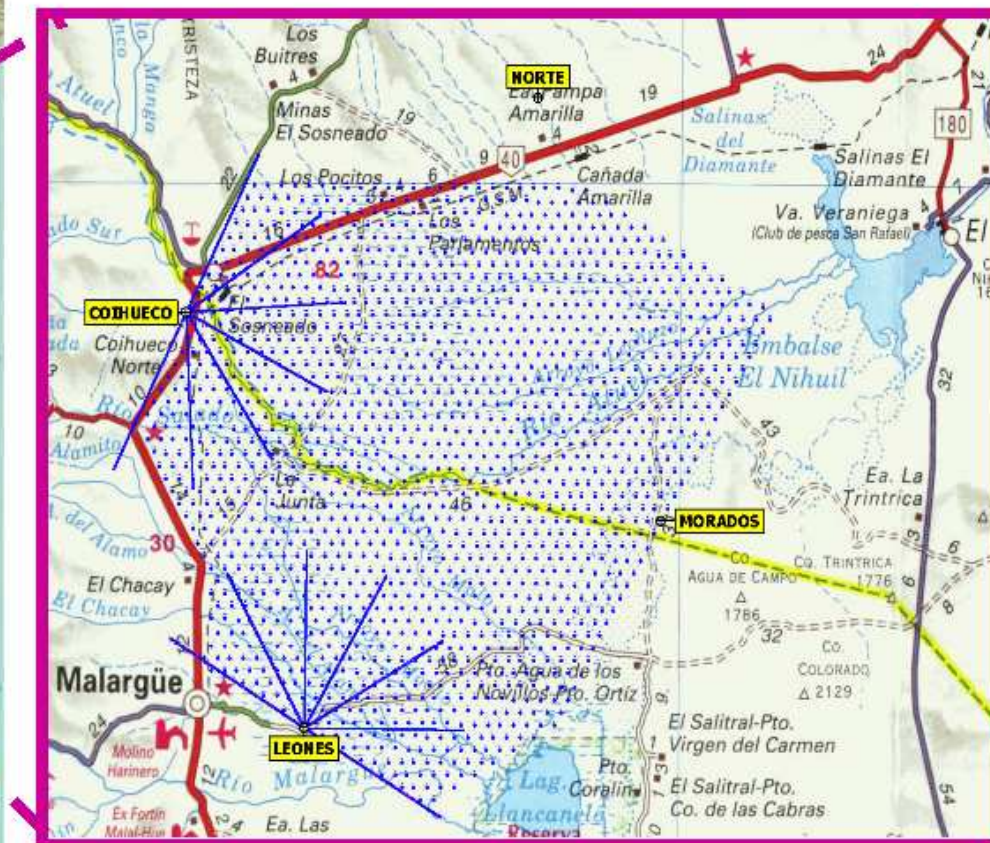


**PIERRE
AUGER**
OBSERVATORY

The Pierre Auger Observatory

The south hemisphere observatory

Área = 3000 km²



Resumo

As Interações

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

● O Mapa

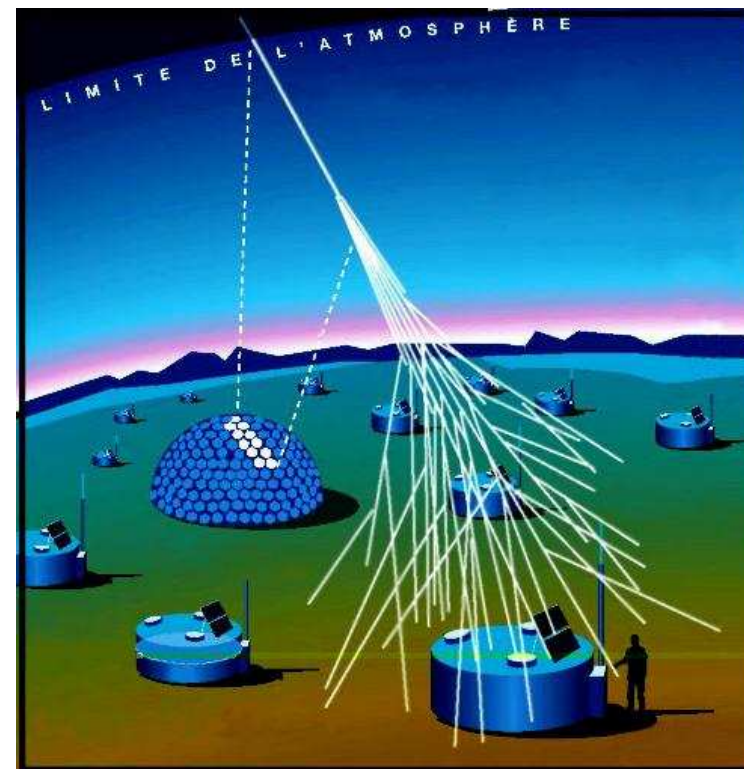
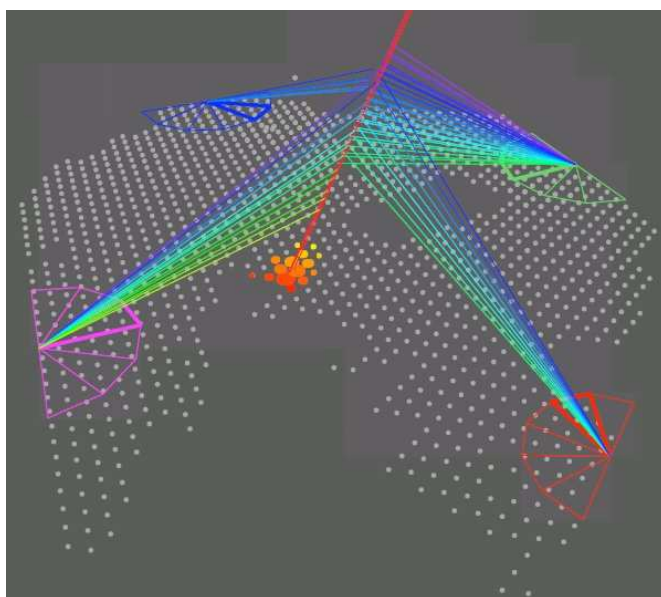
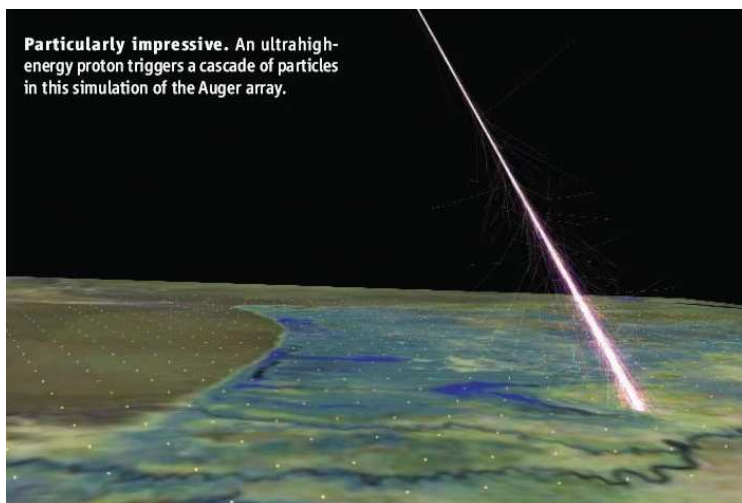
● **O Método**

● A Experiência

● Os Detectores

● A Origem

Aprender Mais



- Luz de Fluorescência
- Luz de Cherenkov

Auger status

Resumo

As Interações

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

● O Mapa

● O Método

● A Experiência

● Os Detectores

● A Origem

Aprender Mais



Resumo

As Interações

Os Constituintes

O Passado

O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

- O Mapa
- O Método
- A Experiência
- **Os Detectores**
- A Origem

Aprender Mais



Resumo

As Interacções

Os Constituintes

O Passado

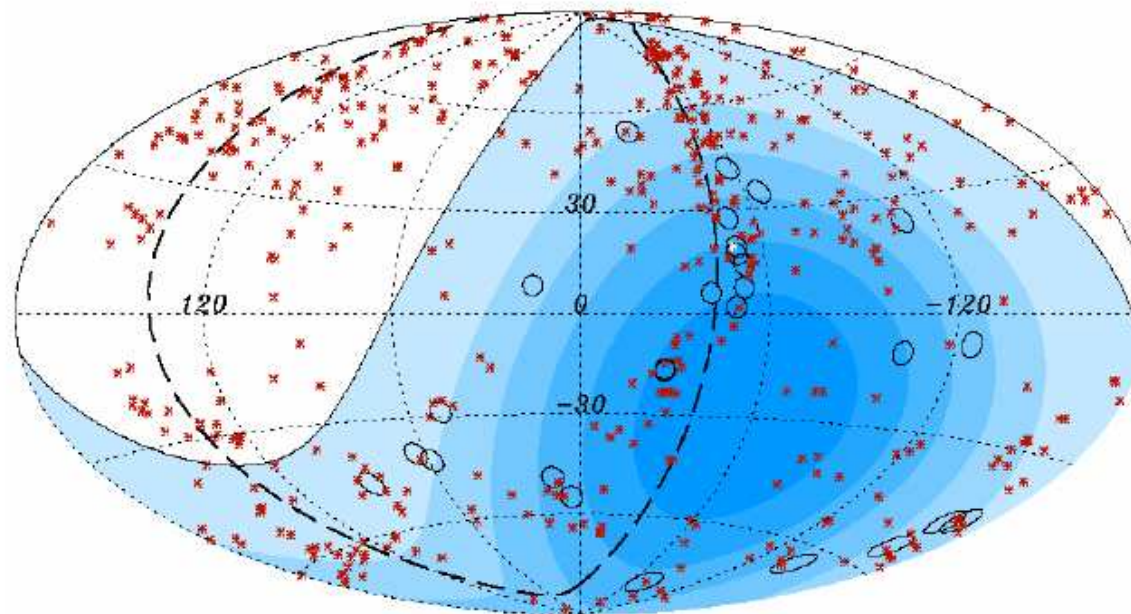
O Futuro: Teoria

O Futuro: LHC

O Futuro: Auger

- O Mapa
- O Método
- A Experiência
- Os Detectores
- A Origem

Aprender Mais



Auger mostrou que os raios cósmicos de energias extremas estão correlacionados com os núcleos activos da galáxias (AGN)

Na figura do lado esquerdo está o núcleo da galáxia Centauro-A

[Resumo](#)

[As Interações](#)

[Os Constituintes](#)

[O Passado](#)

[O Futuro: Teoria](#)

[O Futuro: LHC](#)

[O Futuro: Auger](#)

[Aprender Mais](#)

- <http://public.web.cern.ch/Public/Welcome.html>
- <http://www.particlephysics.ac.uk/teach/useful-links.html>
- <http://particleadventure.org/>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Higgs>
- <http://www.exploratorium.edu/origins/cern/ideas/higgs.html>
- <http://www.phy.uct.ac.za/courses/phy400w/particle/higgs.htm>
- <http://universe-review.ca/F02-cosmicbg.htm>
- <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/html/cpviolationtoc.htm>
- <http://www.auger.org/>
- <http://cms.cern.ch/>
- <http://atlasexperiment.org/>
- <http://cftp.ist.utl.pt/livrodanatureza/>
- <http://www.fisica.ist.utl.pt/consultorio/>