

# À Descoberta das Partículas

A nossa compreensão da estrutura da matéria  
A nossa INcompreensão da estrutura do universo

pedro abreu  
LIP, IST

abreu@lip.pt

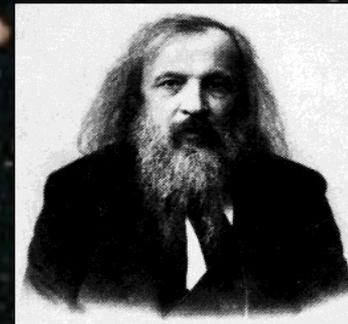


Ocupação Científica de Jovens em Férias

19 de Julho de 2021



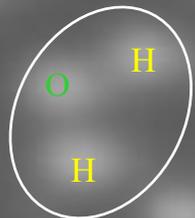
# A Estrutura da Matéria



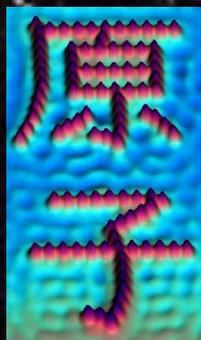
Somos feitos de quê ?

Substâncias como água, proteínas, gorduras, açúcares, sais, ...

Constituídos por elementos (átomos) como



Hidrogénio,  
Cálcio,  
Ferro,  
Carbono,  
Azoto,  
Oxigénio,  
Cloro,  
[Hélio],  
e outros 110  
elementos ...



Reihen	Gruppe I. R <sup>2</sup> O	Gruppe II. RO	Gruppe III. R <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	Gruppe IV. RH <sup>4</sup> RO <sup>2</sup>	Gruppe V. RH <sup>3</sup> R <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	Gruppe VI. RH <sup>2</sup> RO <sup>3</sup>	Gruppe VII. RH R <sup>2</sup> O <sup>7</sup>	Gruppe VIII. RO <sup>4</sup>
1	H = 1							He = 4
2	Li = 7	Be = 9,4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	
3	Na = 23	Mg = 24	Al = 27,3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35,5	
4	K = 39	Ca = 40	- = 44	Ti = 48	V = 51	Cr = 52	Mn = 55	Fe = 56, Co=59 Ni=59, Cu=63
5	(Cu = 63)	Zn = 65	Ga = 68	- = 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	
6	Rb = 85	Sr = 87	?Yt = 88	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96	- = 100	Ru=104, Rh=104 Pd=106, Ag=108
7	Ag = 108	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 125	J = 127	
8	Cs = 133	Ba = 137	?Di = 138	?Ce = 140	-	-	-	- - - -
9	(-)	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	?Er = 178	?La = 180	Ta = 182	W = 184	-	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199
11	(Au = 199)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208	-	-	-
12	-	-	-	Th = 231	-	U = 240	-	- - - -

©1869 Dmitri Mendeleev

...ESTRUTURA ELECTRÓNICA!

# O Átomo é feito de:

VAZIO

(99,999 999 999 9% do volume)

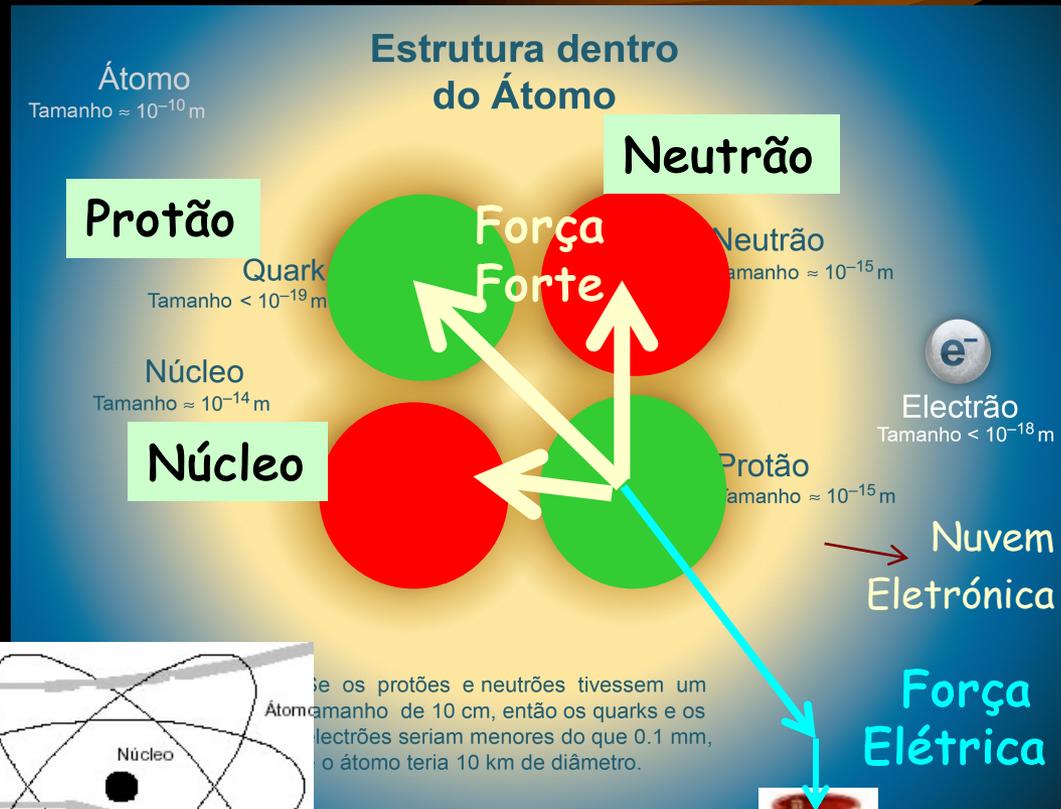
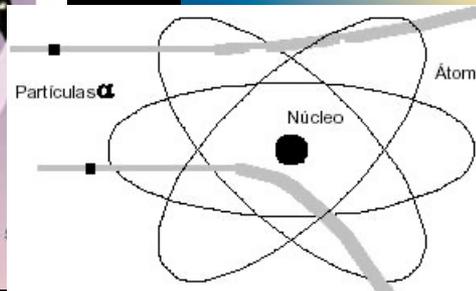
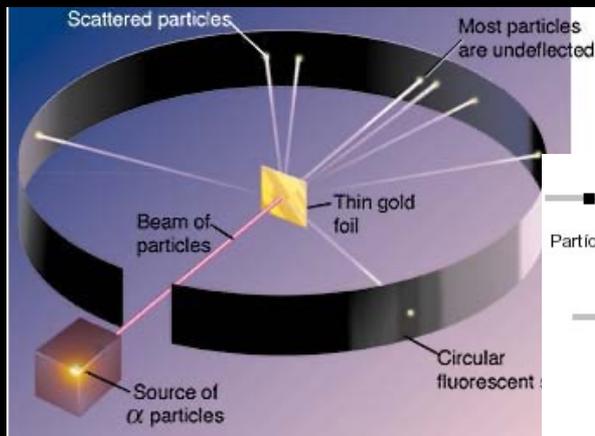
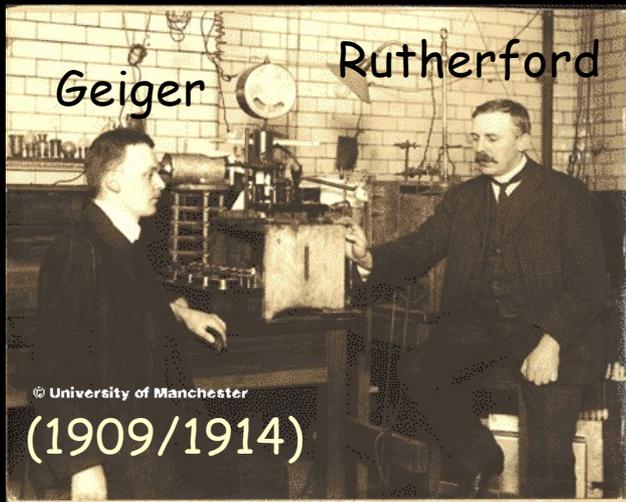
(núcleo x100)

(raio médio órbita dos electrões)

# Uma questão de escala...

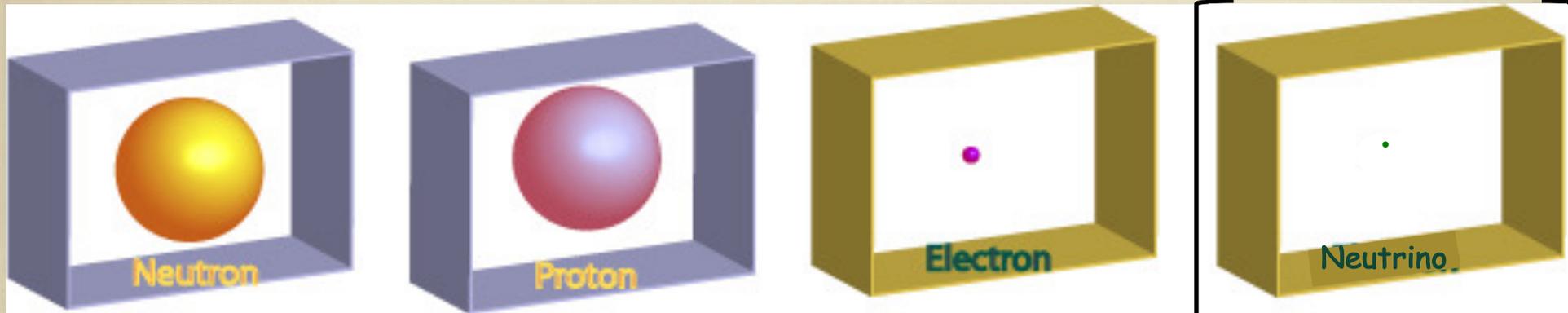


# E os Núcleos ?! Núcleos rodeados por uma nuvem eletrónica!



# PARTÍCULAS

## Espectro de Partículas Elementares (1932)



neutrão

protão

eletrão

[neutrino]

**Simple, fácil de fixar  
Ainda ensinado nas Escolas**

Mas...100 anos depois: outra vez muitas novas partículas!

**Jardim  
Zoológico**

Anos 1950's

Com novos aceleradores e detectores,  
o "Zoo das Partículas" tem mais de ~ 260 'partículas elementares'!

HADRÕES

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

Pions

$K^+$   $K^-$   $K^0$

$\eta'$

Kaons

Eta-Prime

$\eta$

$\phi$

Eta

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

Phi

Rho

(todas instáveis)

**MESÕES**

$\Delta^{++}$ ,  $\Delta^+$ ,  $\Delta^0$ ,  $\Delta^-$   $p$ ,  $n$   
protão, neutrão

Delta

$\Lambda^0$

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

Lambda (estranho!)

Sigma (estranho!)

$\Xi^0$ ,  $\Xi^-$

Xi (muito estranho!)

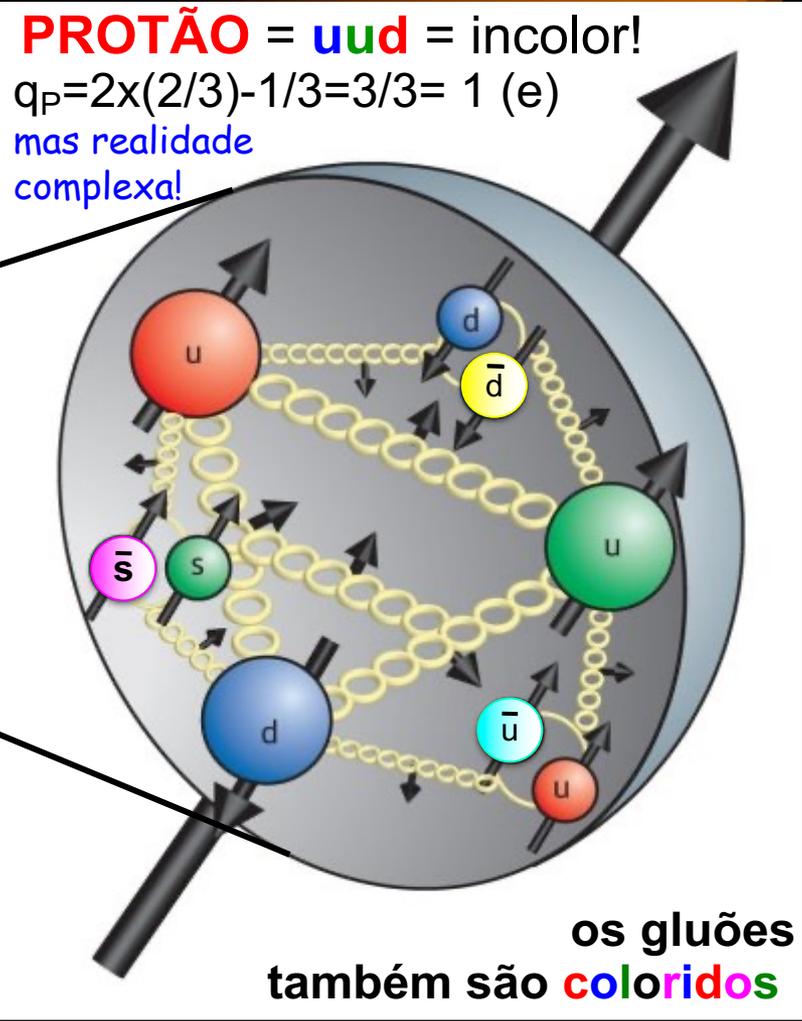
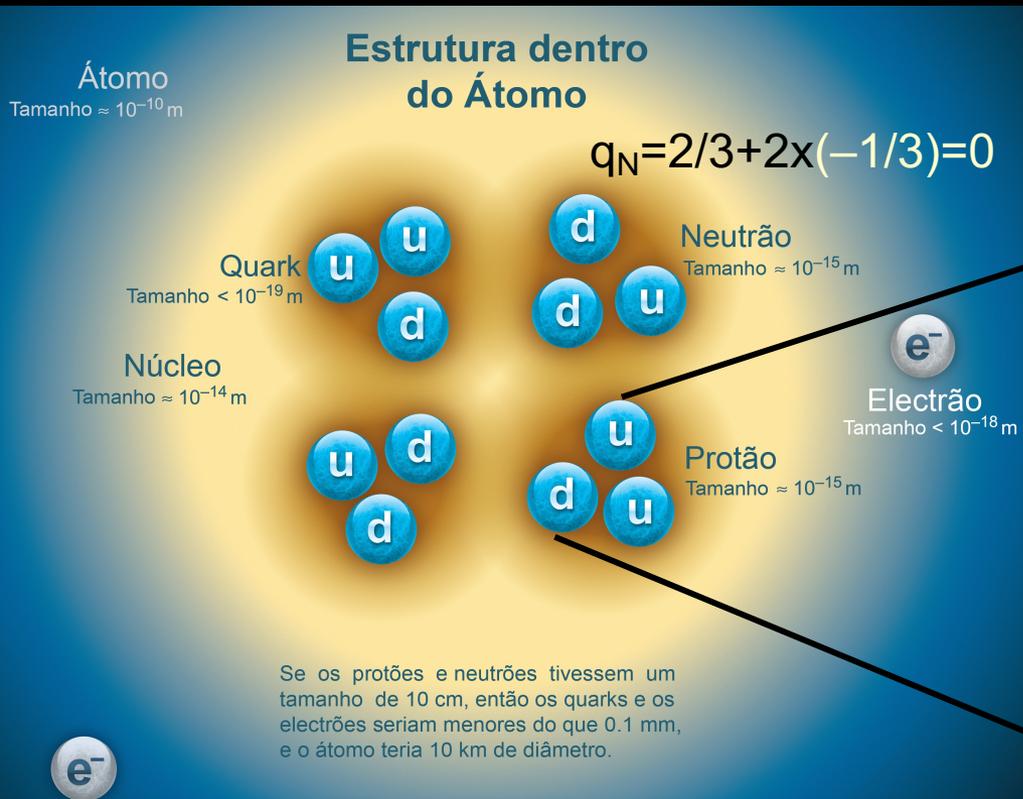
(decaem até ao protão)

**BARIÕES**

Qual a nova estrutura de base, a 'nova tabela periódica' ?  
Porque é que o protão é absolutamente estável?

# Protões e neutrões feitos de Quarks, Anti-Quarks e Gluões!

Nome Quark	Carga Eléctrica	Spin [h/(2π)]	
u (up)	+2/3 (e)	+1/2	● ● ●
d (down)	-1/3 (e)	+1/2	● ● ●



Contudo,  $m_p = 0,938 \text{ GeV}/c^2 \approx 1 \text{ GeV} \gg \sum m_q$   
 (em repouso,  $E = m c^2 \Leftrightarrow m = E/c^2$ )

# O MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS E INTERACÇÕES FUNDAMENTAIS



O Modelo Padrão é uma teoria quântica que resume o nosso conhecimento actual da física das partículas e interações fundamentais (as interações manifestam-se através das forças e dos decaimentos das partículas instáveis).

## FERMIÕES

constituintes da matéria  
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptões spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Sabor	Massa GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica	Sabor	Massa Aprox. GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica
$\nu_L$ neutrino* mais leve	$(0-2) \times 10^{-9}$	0	<b>u</b> up	0.002	2/3
<b>e</b> electrão	0.000511	-1	<b>d</b> down	0.005	-1/3
$\nu_M$ neutrino* intermédio	$(0.009-2) \times 10^{-9}$	0	<b>c</b> charm	1.3	2/3
$\mu$ muão	0.106	-1	<b>s</b> strange	0.1	-1/3
$\nu_H$ neutrino* pesado	$(0.05-2) \times 10^{-9}$	0	<b>t</b> top	173	2/3
$\tau$ tau	1.777	-1	<b>b</b> bottom	4.2	-1/3

\*Ver em baixo o parágrafo sobre neutrinos.

**Spin** é o momento angular intrínseco das partículas. O spin é dado em unidades de  $\hbar$ , que é a unidade quântica de momento angular, com  $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-25}$  GeV s =  $1.05 \times 10^{-34}$  J s.

**Cargas eléctricas** são dadas em unidades de carga eléctrica do próton. Em unidades SI, a carga eléctrica do próton é  $1.60 \times 10^{-19}$  coulomb.

A unidade de **Energia** em física de partículas é o electrão volt, que é a diferença de potencial de um volt. Mas em que 1 GeV =  $10^9$  eV =  $1.60 \times 10^{-10}$  joule. A massa do próton é  $0.938$  GeV/c<sup>2</sup> =  $1.67 \times 10^{-27}$  kg.

### Neutrinos

Os neutrinos são produzidos no Sol, supernovas, reactores nucleares, colisões em aceleradores, e muitos outros processos. Qualquer neutrino pode ser descrito como um de três estados de sabor de neutrinos:  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$  ou  $\nu_\tau$ , de acordo com o tipo de leptão associado na sua produção. Cada estado destes é uma mistura quântica de três estados de massa de neutrinos  $\nu_L$ ,  $\nu_M$ , e  $\nu_H$ , para os quais os intervalos de massas são indicados na tabela. O estudo dos neutrinos pode ajudar à compreensão da assimetria matéria-antimatéria e da evolução das estrelas e das estruturas das galáxias.

### Matéria e Antimatéria

Para cada tipo de partícula existe o correspondente tipo de antipartícula, indicado com uma barra sobre o símbolo da partícula (excepto se se mostrar a carga + ou -). A partícula e a antipartícula têm a mesma massa e spin mas cargas eléctricas opostas. Alguns bósons electricamente neutros (por ex.,  $Z^0$ ,  $\gamma$ , e  $\eta_c = c\bar{c}$ , mas não  $K^0 = d\bar{s}$ ) são as próprias antipartículas.

## Processos com Partículas

Estes diagramas são concepções artísticas. Áreas alaranjadas representam as nuvens de glúons.

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

Um neutrão livre (udd) decai para um próton (uud), um electrão, e um antineutrino, através de um bóson W virtual (mediador). Este é o decaimento  $\beta$  (beta) do neutrão.

$e^+ e^- \rightarrow \gamma \text{ ou } Z^0$

Um electrão e um positrão (antielectrão), colidindo a altas energias, podem aniquilar-se para produzir mesões  $B^0$  e  $\bar{B}^0$  por meio de um bóson Z ou fóton virtuais.



Se os prótons e neutrões tivessem um tamanho de 10 cm, então os quarks e os glúons teriam um tamanho de 10 micrometros.

<http://www.cpepphysics.org/particles.html>

## BOSÕES

mediadores das interações  
spin = 0, 1, 2, ...

Electrofraca spin = 1			Forte (cor) spin = 1		
Nome	Massa GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica	Nome	Massa GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica
$\gamma$ fóton	0	0	<b>g</b> glúão	0	0
$W^-$ bósons W	80.39	-1	<b>Bosão de Higgs</b> spin = 0		
$W^+$ bósons W	80.39	+1	Nome	Massa GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica
$Z$ bóson Z	91.188	0	<b>H</b> Higgs	126	0

### Bosão de Higgs

O bóson de Higgs é um elemento fundamental do Modelo Padrão. A sua descoberta confirma o mecanismo pelo qual as partículas elementares adquirem massa.

### Carga de cor

Só os quarks e os glúões é que possuem "carga de cor" e são sensíveis à interacção forte. Cada quark pode ter uma de três cores ("vermelho", "verde", "azul"). Mas estas não têm nada que ver com as cores que vemos. As partículas carregadas interagem trocando ou interagendo trocando glúões.

Propriedade	Interacção Gravitica	Interacção Fraca (Electrofraca)	Interacção Electromagnética	Interacção Forte
Actua em:	Massa – Energia	Sabor	Carga Eléctrica	Carga de cor
Partículas afectadas:	Todas	Quarks, Leptões	Electricamente carregadas	Quarks, Glúões
Partículas mediadoras:	Gravitão (ainda por observar)	$W^+$ $W^-$ $Z^0$	$\gamma$	Glúões
Intensidade a $\left\{ \begin{array}{l} 10^{-18} \text{ m} \\ 3 \times 10^{-17} \text{ m} \end{array} \right.$	$10^{-41}$	$10^{-4}$	1	25
	$10^{-41}$	$10^{-4}$	1	60

Os quarks e os glúões estão confinados em partículas compostas chamadas hádrons. Este confinamento (ligação) resulta das interações fortes entre os quarks e os glúões, que são as partículas observáveis.

Dois tipos de hádrons foram observados na natureza: mesões  $q\bar{q}$  e bárions  $qqq$ . Entre os muitos tipos de bárions observados temos o próton (uud), antipróton ( $\bar{u}\bar{u}\bar{d}$ ), e neutrão (udd). As cargas eléctricas dos quarks somam-se para o próton ter carga 1 e o neutrão carga 0. Entre os vários tipos de mesões temos o píon  $u\bar{d}$  ( $\pi^+$ ), kaão  $K^-$  ( $s\bar{u}$ ), e  $B^0$  ( $d\bar{s}$ ).

Saiba mais em [ParticleAdventure.org](http://ParticleAdventure.org)



## Mistérios por resolver

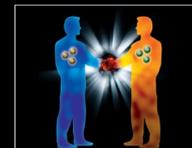
Motivados por novas questões na nossa compreensão física do Universo, os físicos de partículas seguem caminhos diferentes na direcção de novas descobertas maravilhosas. As experiências poderão vir a encontrar dimensões extra de espaço, buracos negros microscópicos, ou sinais da teoria das cordas.

### Porque acelera o Universo?



A expansão do Universo parece estar a acelerar. Será devido à Constante Cosmológica de Einstein? Se não, poderão as experiências vir a revelar novas forças da Natureza ou até dimensões (escondidas) de espaço?

### Onde está a Antimatéria?



Matéria e antimatéria terão sido criadas em iguais quantidades no Big Bang. Porque é que agora vemos só matéria, à excepção de quantidades diminutas de antimatéria criadas em laboratório ou nos Raios Cósmicos?

### O que é a Matéria Escura?



Grande parte da massa observada nas galáxias e aglomerados de galáxias é formada por matéria invisível. Pode esta matéria escura ser feita de novos tipos de partículas que apenas interagem fracamente com a matéria normal?

### Existem Dimensões Extra?



Uma indicação para dimensões extra de espaço pode ser a baixíssima intensidade da força gravitica, quando comparada com as outras três forças fundamentais da Natureza (um íman pode levantar um clipe, sobrepondo-se à gravidade exercida por todo o planeta Terra).

# Unidades de massa:

## FERMIÕES

constituintes da matéria  
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptões spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Sabor	Massa GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica	Sabor	Massa Aprox. GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica

Sobre as unidades de massa: Equação de Einstein:  **$E = mc^2$**

protão:  $m_p \approx 1 \text{ u.m.a.} \approx 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$  e  $E_p \approx 1,5 \times 10^{-10} \text{ J}$

com  **$m = E/c^2$** , usamos para unidade de massa  **$\text{J}/c^2$**  ou

**$\text{GeV}/c^2$** , pois  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

$\Leftrightarrow 1 \text{ GeV}/c^2 = (1,6 \times 10^{-10} / 9 \times 10^{16}) \text{ kg} = 1,78 \times 10^{-27} \text{ kg}$

**protão:  $m_p \approx 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg} \approx 0,938 \text{ GeV}/c^2 \approx 1 \text{ GeV}/c^2$**

# O Modelo Padrão (MP) – Matéria:



## FERMIÕES

constituintes da matéria  
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

$p = \{uud\}$   
 $n = \{udd\}$

Leptões spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Sabor	Massa GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica	Sabor	Massa Aprox. GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica
1956 $\nu_L$ neutrino* mais leve	$(0-2) \times 10^{-9}$	0	<b>u</b> up	0.002	2/3
1897 <b>e</b> electrão	0.000511	-1	<b>d</b> down	0.005	-1/3
1962 $\nu_M$ neutrino* intermédio	$(0.009-2) \times 10^{-9}$	0	<b>c</b> charm	1.3	2/3
1937 $\mu$ muão	0.106	-1	<b>s</b> strange	0.1	-1/3
2001 $\nu_H$ neutrino* pesado	$(0.05-2) \times 10^{-9}$	0	<b>t</b> top	173	2/3
1975 $\tau$ tau	1.777	-1	<b>b</b> bottom	4.2	-1/3

# E em relação às forças/interacções?



## Propriedades das Interações

Propriedade	Interação Gravítica	Interação Fraca (Electrofraca)	Interação Electromagnética	Interação Forte
Actua em:	Massa – Energia	Sabor	Carga Eléctrica	Carga de cor
Partículas afectadas:	Todas	Quarks, Leptões	Electricamente carregadas	Quarks, Gluões
Partículas mediadoras:	Gravitão (ainda por observar)	$W^+$ $W^-$ $Z^0$	$\gamma$ (fotão)	Gluões
Intensidade a $\left\{ \begin{array}{l} 10^{-18} \text{ m} \\ 3 \times 10^{-17} \text{ m} \end{array} \right.$	$10^{-41}$ $10^{-41}$	0.8 $10^{-4}$	1 1	25 60



Gravítica (Peso)

Força Fraca  
(Radioactividade)

Electromagnética  
(Corrente eléctrica,  
luz, ímans)

Força Forte  
(Coesão dos  
Núcleos  
Atómicos)

<Força Electrofraca>

- Gravidade fora do MP
- Partícula de massa nula: alcance infinito
- Alcance muito reduzido: partícula muito massiva!

+bosão de Higgs  
+bosão de Higgs

mas note-se: ... muitas interacções incompreendidas! (Relações Humanas, etc.)

# Interações: Troca de Partículas!



## BOSÕES

mediadores das forças  
spin = 0, 1, 2, ...

Electrofraca		spin = 1	
Nome	Massa GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica	
1905 $\gamma$ fotão	0	0	
1983 $W^-$ $W^+$ bosões W	80.39	-1	
	80.39	+1	
1983 $Z^0$ bosão Z	91.188	0	

Forte (cor)		spin = 1	
Nome	Massa GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica	
1979 <b>g</b> gluão	0	0	

Bosão de Higgs		spin = 0	
Nome	Massa GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica	
2012 <b>H</b> Higgs	126	0	



# O Campo de Higgs: origem da massa das partículas elementares

O Professor Peter Higgs (e vários colegas) propuseram que todo o espaço está preenchido por um campo, o campo de Higgs.

A Mecânica quântica afirma que a todos os campos estão associadas partículas, e neste caso...

Uma nova partícula:  
um **bosão de Higgs**.



O Higgs na Experiência Atlas, mas é o Prof.Higgs...  
não o bosão de Higgs



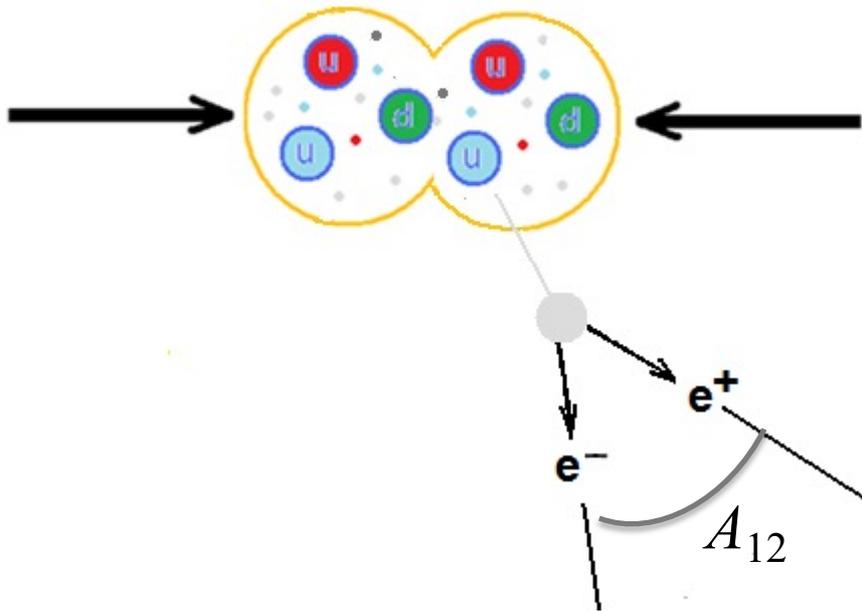


# O Campo de Higgs e o bóson de Higgs



# Massa invariante de pares de partículas

- Partículas X que decaem em duas partículas
- Escolhem-se eventos com duas partículas e calcula-se  $m(X)$  a partir da energia-momento dessas partículas



$$E = m_X c^2 \Rightarrow E^2 = m_X^2 c^4 + c^2 p^2$$

$$m_X = \left( \sqrt{E^2 - c^2 p^2} \right) / c^2 \quad E_X? p_X?$$

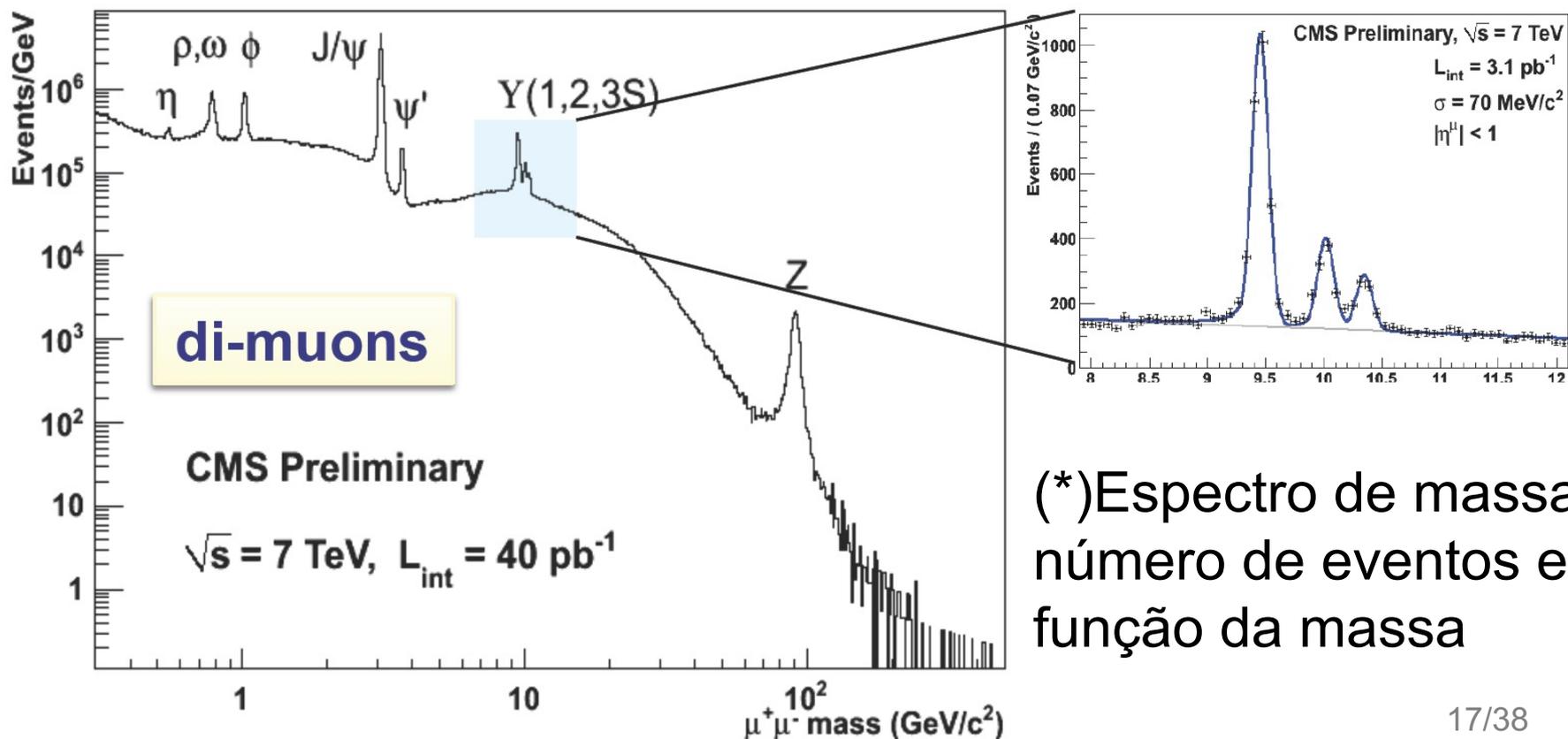
$$E_X = E_1 + E_2 \quad p_X = |\vec{p}_X| = |\vec{p}_1 + \vec{p}_2|$$

$$m_X = \frac{1}{c^2} \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - c^2 |\vec{p}_1 + \vec{p}_2|^2}$$

$$m c^2 \sim \sqrt{2 E_1 E_2 (1 - \cos A_{12})}$$

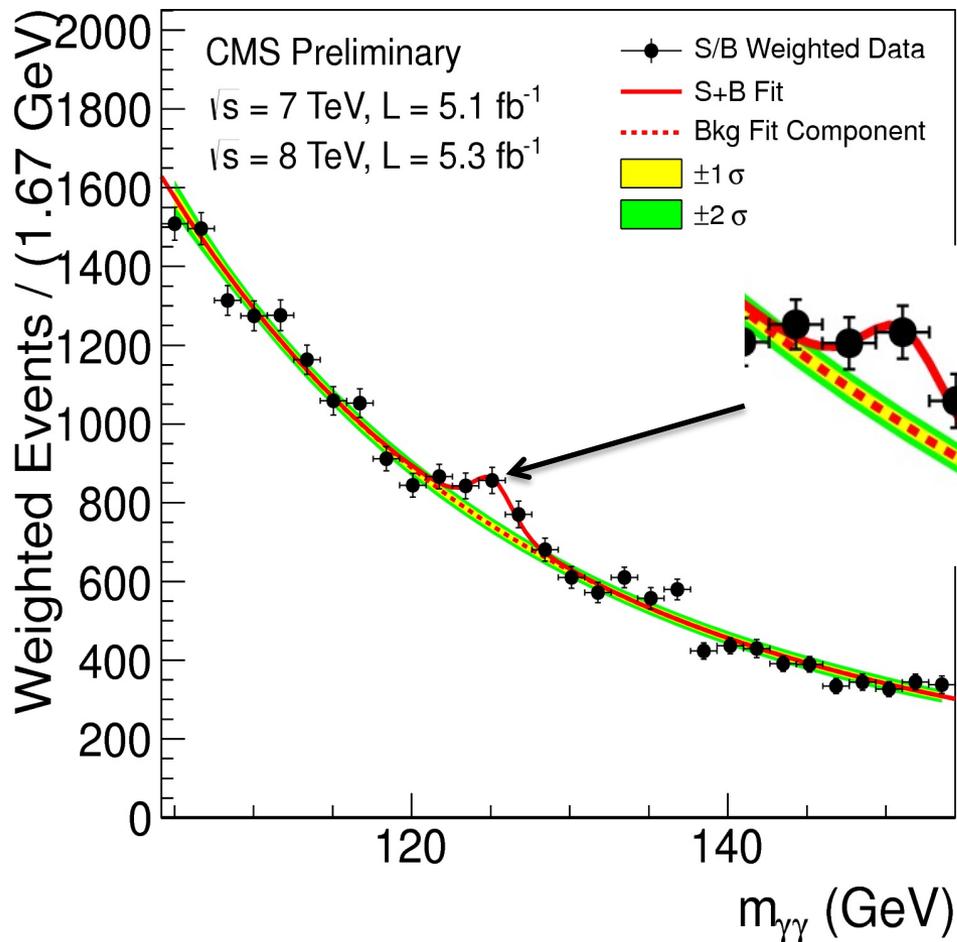
# Espectro de massa(\*) de pares de muões

- Eventos com dois muões
- Pesquisa de partículas X que decaem em dois muões:  
...e faz-se uma distribuição dos valores de  $m(X)$



## Distribuição de massa dos 2 fótons, $m(\gamma\gamma)$

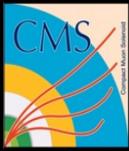
Soma das distribuições de cada classe de acontec., ponderada por S/B



Na distribuição de massa  $\gamma\gamma$  há um excesso de acontecimentos sobre o fundo, para massas  $\sim 125 \text{ GeV}/c^2$ .

A observação do estado final em 2 fótons implica que a **nova partícula é um bóson**, não um fermião, e que **não pode ser uma partícula de “spin 1”**.

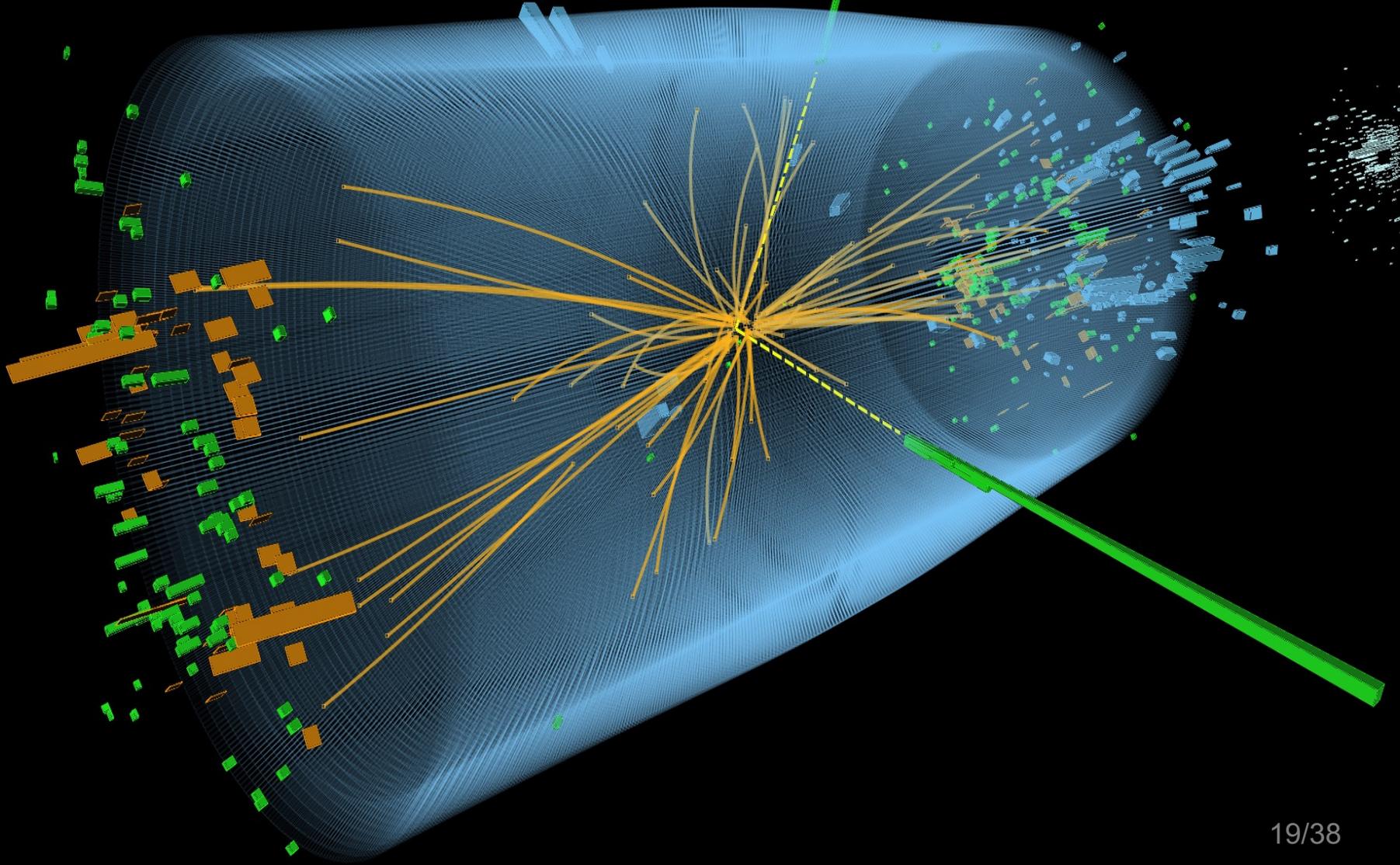
Não há outra partícula fundamental com estas propriedades!



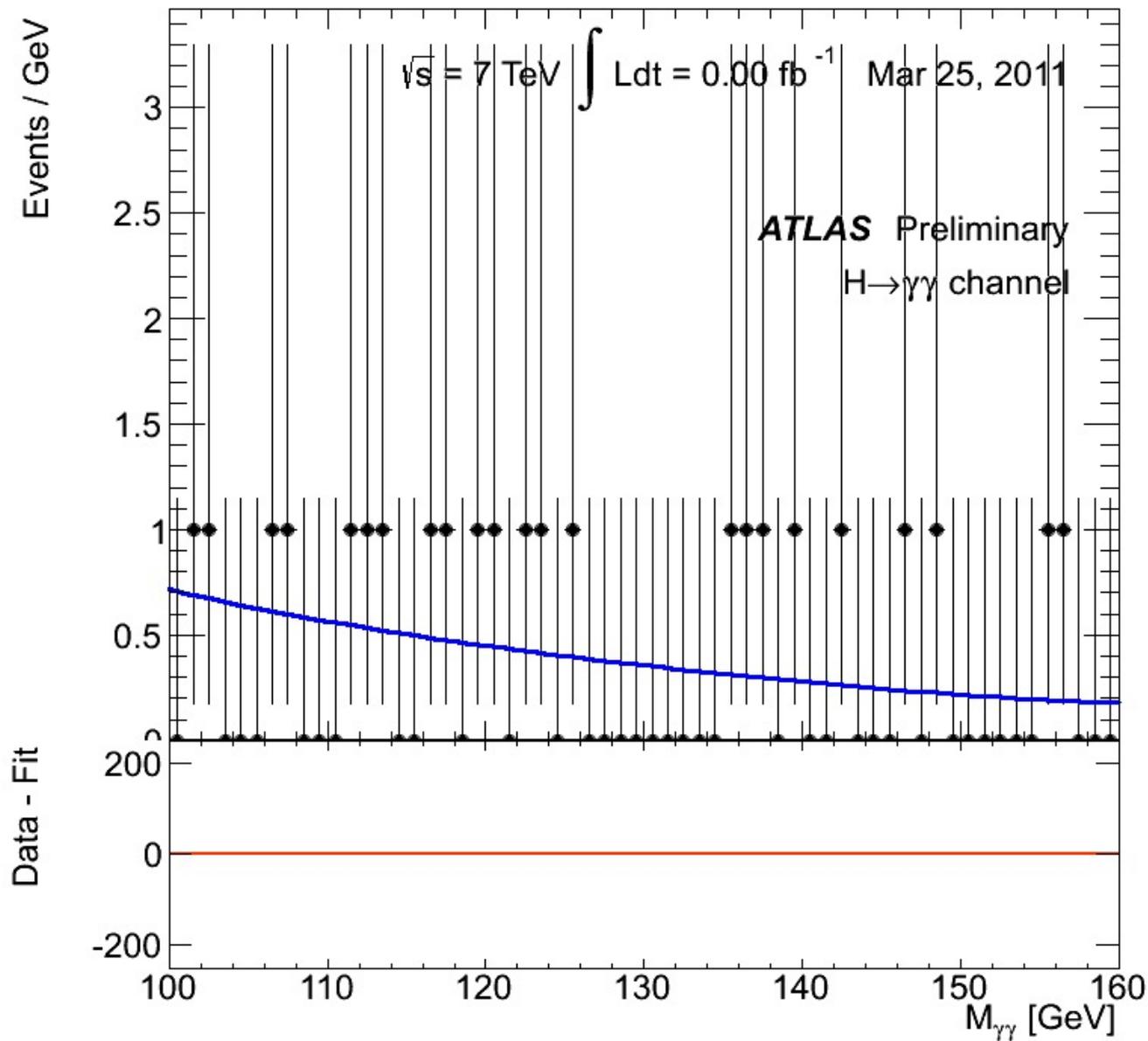
CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT  
Run/Event: 194108 / 564224000

# A Descoberta: $H \rightarrow \gamma\gamma$

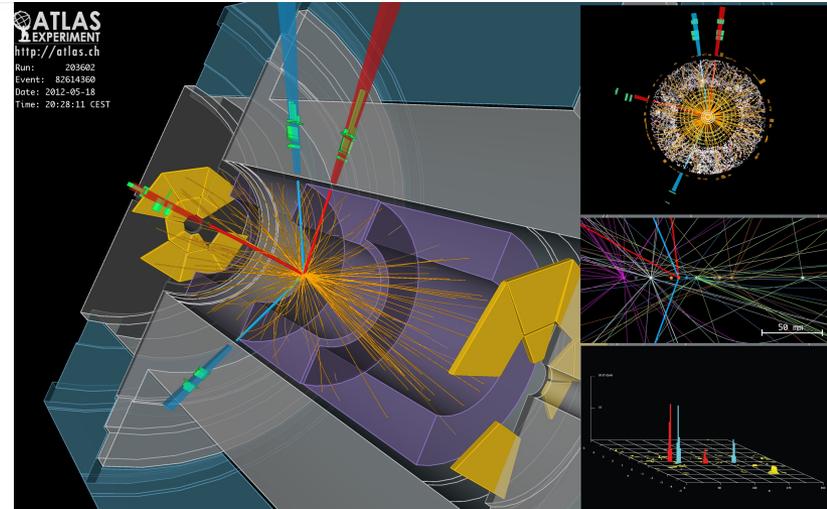
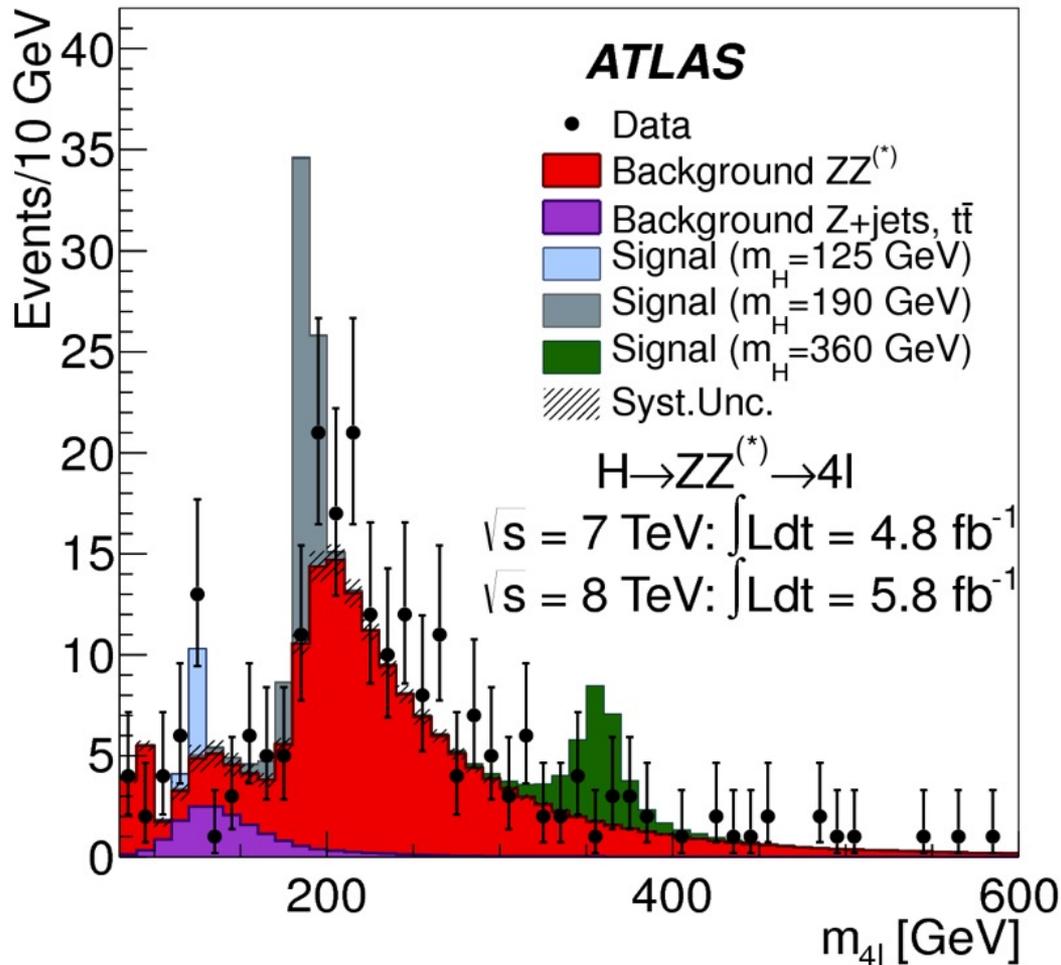
(possível decaimento do Higgs em 2 fótons)



# 2012: Descoberta do bóson de Higgs: $H \rightarrow \gamma\gamma$ (fotão+fotão)



## Distribuição de massa de 4 leptões, $m(4l)$



### Distribuição de massa para os 4 leptões

(dois pares elétron-positrão, ou dois pares de múons, ou um par de elétrons e um par de múons).

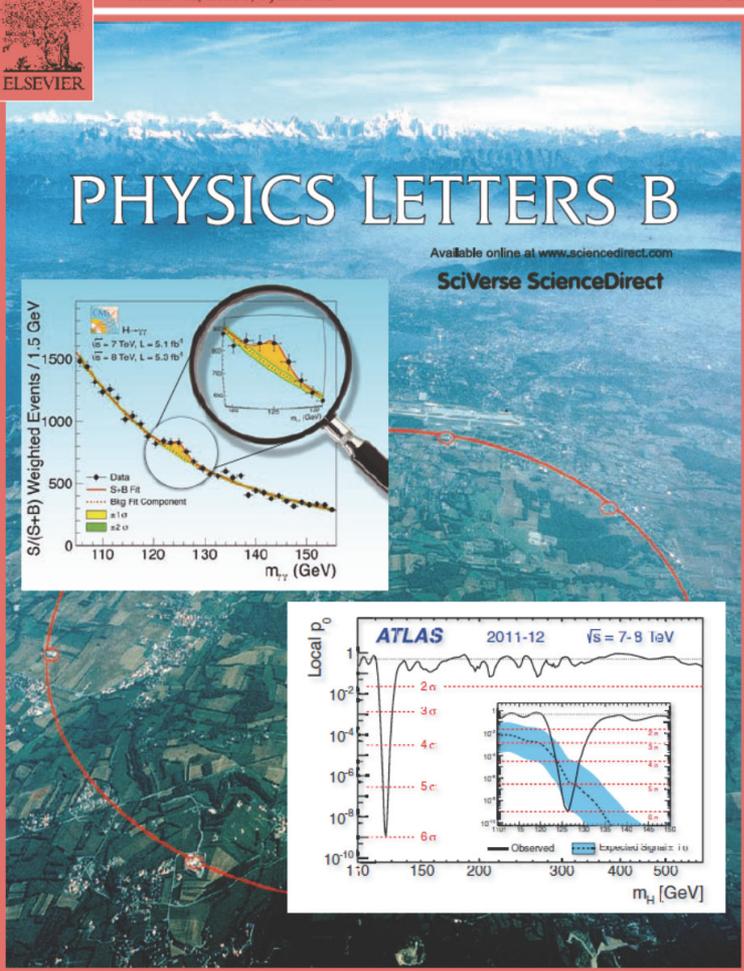
# A Descoberta do bóson de Higgs

Volume 712, Issue 3, 6 June 2012 ISSN 0370-2693

ELSEVIER

## PHYSICS LETTERS B

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)  
SciVerse ScienceDirect



The cover features two main plots. The top plot shows 'S/(S+B) Weighted Events / 1.5 GeV' versus  $m_{\tau\tau}$  (GeV) from 110 to 150. It includes data points, a fit line, and a magnified view of the peak around 125 GeV. The bottom plot is an ATLAS Local  $p_0$  versus  $m_H$  [GeV] plot for 2011-12 at  $\sqrt{s} = 7-8$  TeV, showing observed data and a blue shaded region for the expected signal with a  $1\sigma$  confidence level. Significance levels from  $2\sigma$  to  $6\sigma$  are marked on the y-axis.

<http://www.elsevier.com/locate/physletb>

The Economist

JULY 7TH - 13TH 2012 Economist.com

In praise of charter schools  
Britain's banking scandal spreads  
Volkswagen overtakes the rest  
A power struggle at the Vatican  
When Lonesome George met Nora

# A giant leap for science



The cover image shows a man in a suit jumping over a vibrant, colorful nebula in space. The headline 'A giant leap for science' is prominently displayed in white text.

## Finding the Higgs boson



# It's collaborative!



VIEWPOINT May 20, 2009, 11:57AM EST

## CERN's Collaborative Management Model

Business leaders could learn valuable leadership lessons from the collaborative management style at the Large Hadron Collider at CERN

By [Krisztina Holly](#)

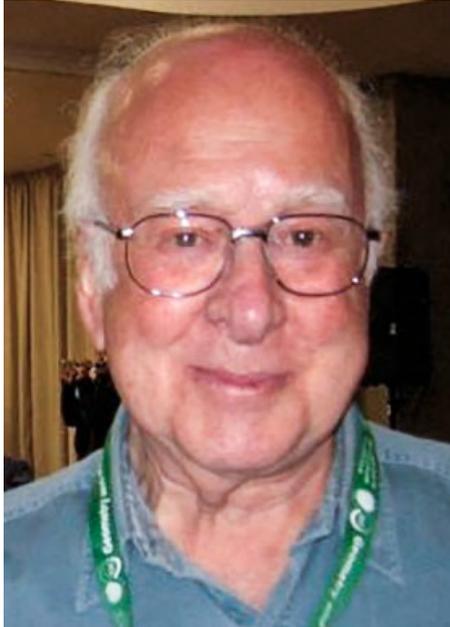
As a business [leader](#), imagine trying to [manage](#) more than 7,000 scientists from 85 countries around the world—with their own languages, cultures, and expertise—on a 20-year collaboration to create the most complex system ever built.



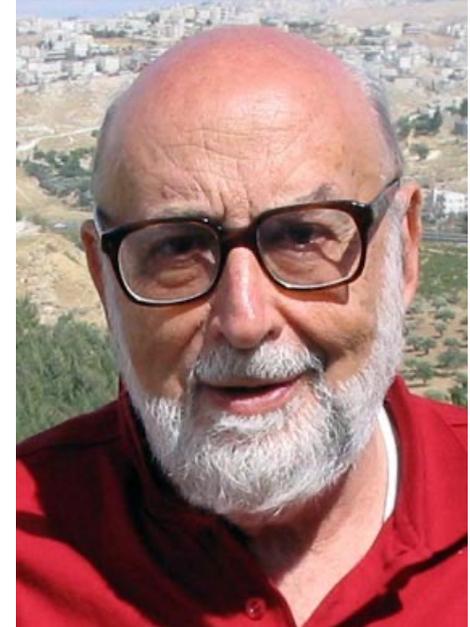
# A Descoberta do bóson de Higgs... ...premiada com o Prémio Nobel 2013:



**Peter Higgs,  
Inglês,  
nascido em  
1929,  
Univ.  
Edimburgo**



**François Englert,  
Belga,  
nascido em 1932,  
U. Libre  
de Bruxelles**

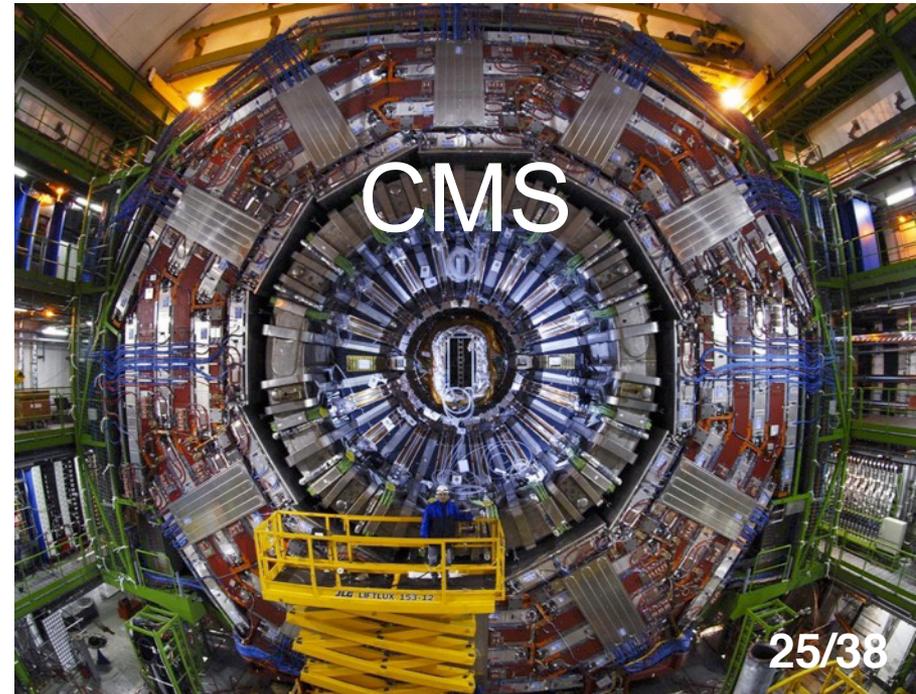
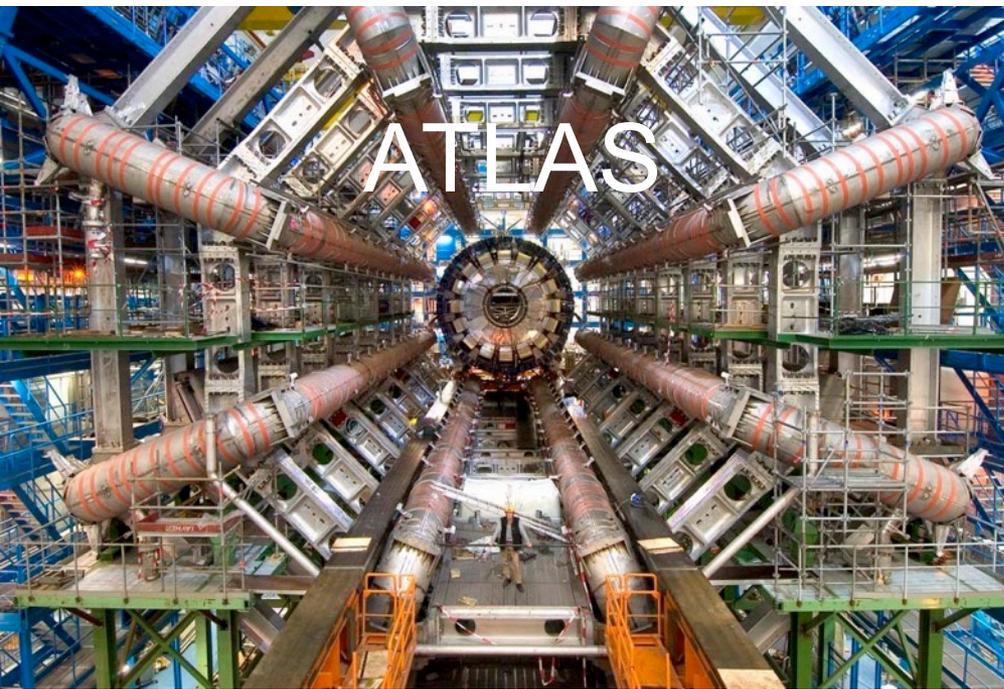


*"for the **theoretical discovery** of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the **discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider**"*

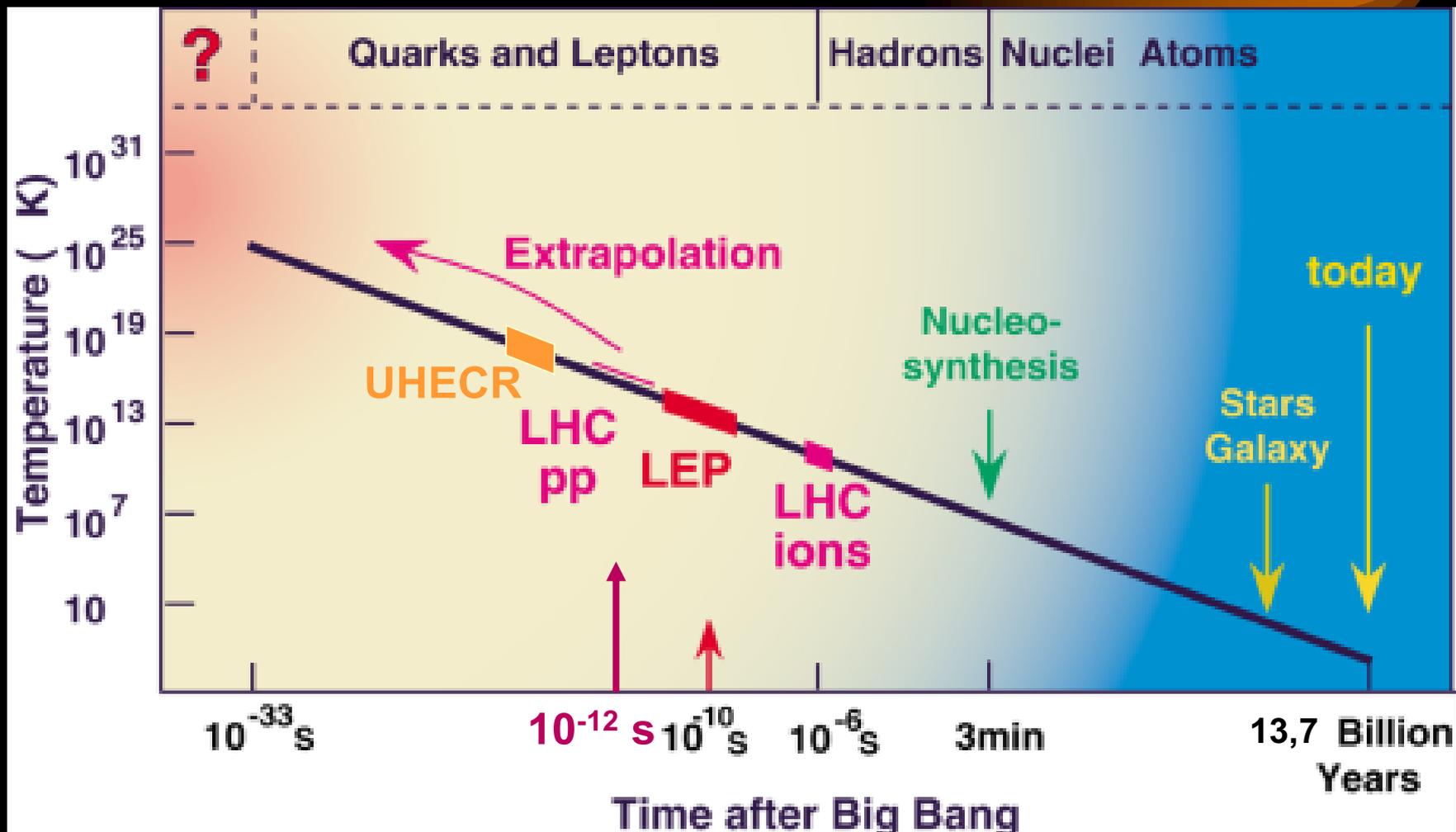
# Acelerador LHC



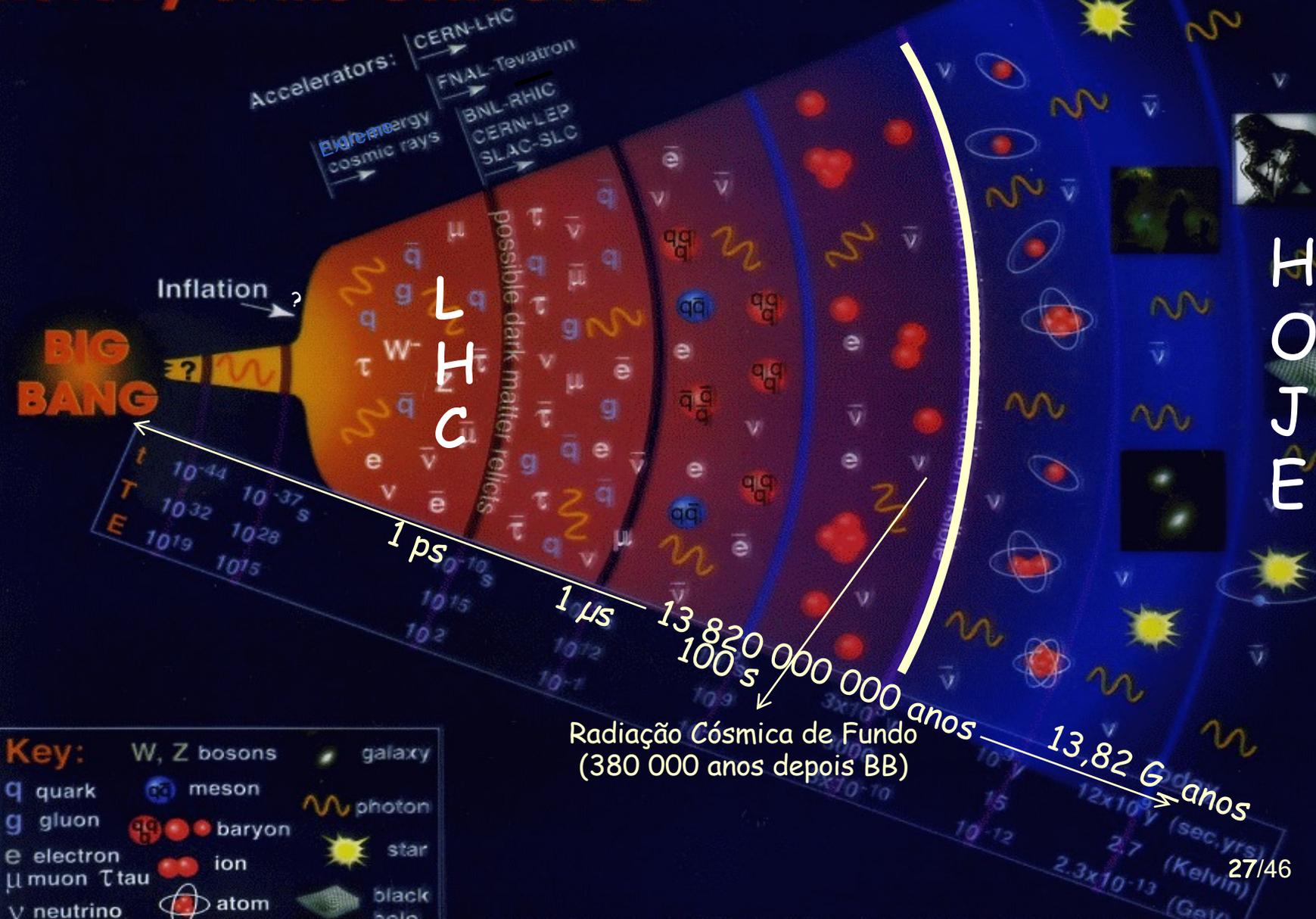
Detectores LHC envolvidos na descoberta do b.Higgs



# Para o início do Universo...



# History of the Universe



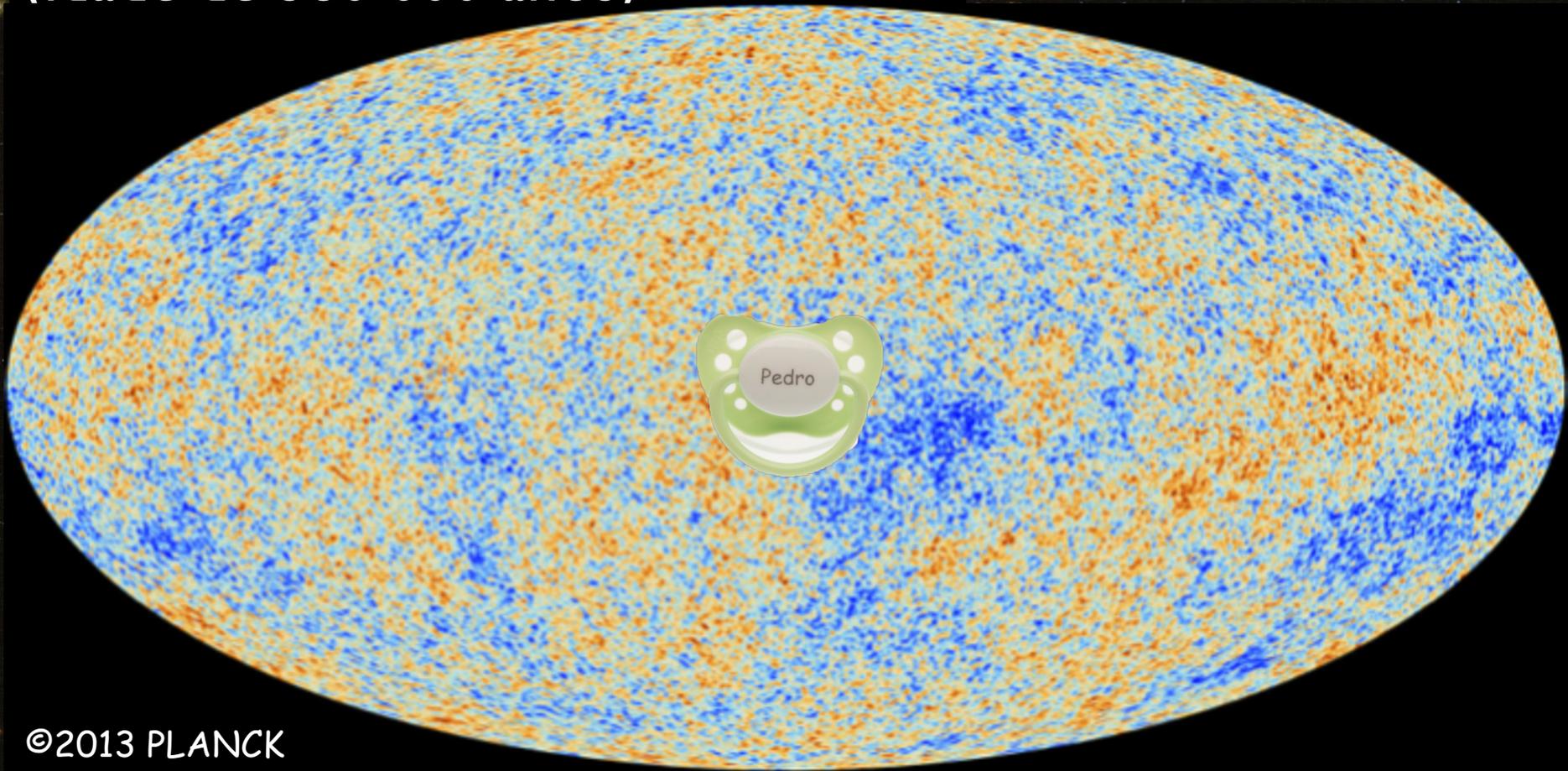
<b>t</b>	$10^{-44}$	$10^{-37}$ s
<b>T</b>	$10^{32}$	$10^{28}$
<b>E</b>	$10^{19}$	$10^{15}$

**Key:**

W, Z bosons	galaxy
q quark	meson
g gluon	baryon
e electron	ion
$\mu$ muon $\tau$ tau	atom
$\nu$ neutrino	black hole
	photon
	star

# A Radiação Cósmica de Fundo do Universo (hoje)

Uma fotografia do Universo bebé  
(idade de 380 000 anos)



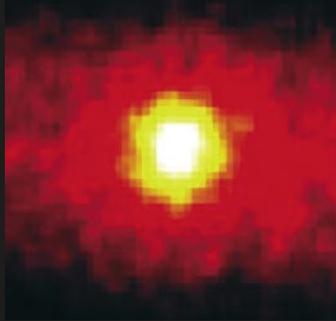
©2013 PLANCK

19 de julho  
2021

pedro abreu - à descoberta das partículas...

28/38

(Sol em ) neutrinos



Raios C3smicos de Energia Extrema

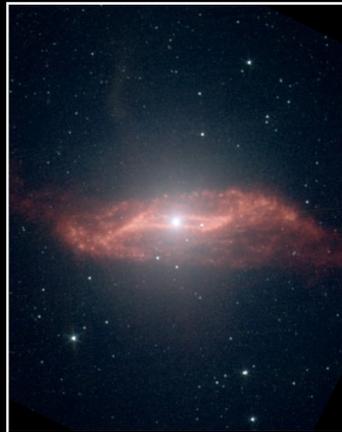


# O UNIVERSO INVISÍVEL

3tico



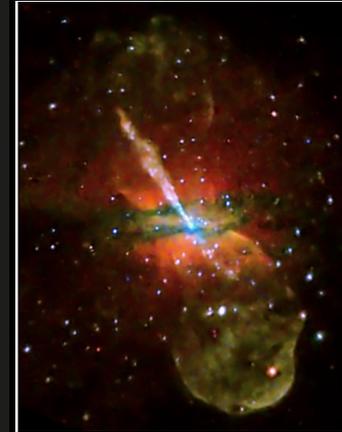
InfraVerm.



UltraVioleta



Raios-X



Ondas R3dio



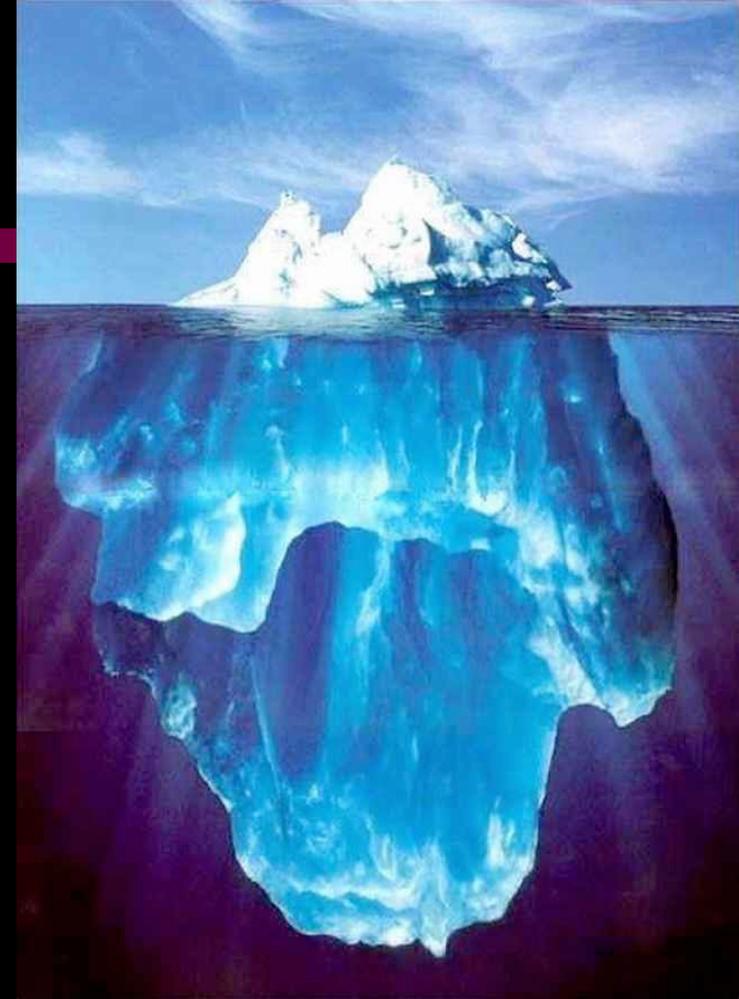
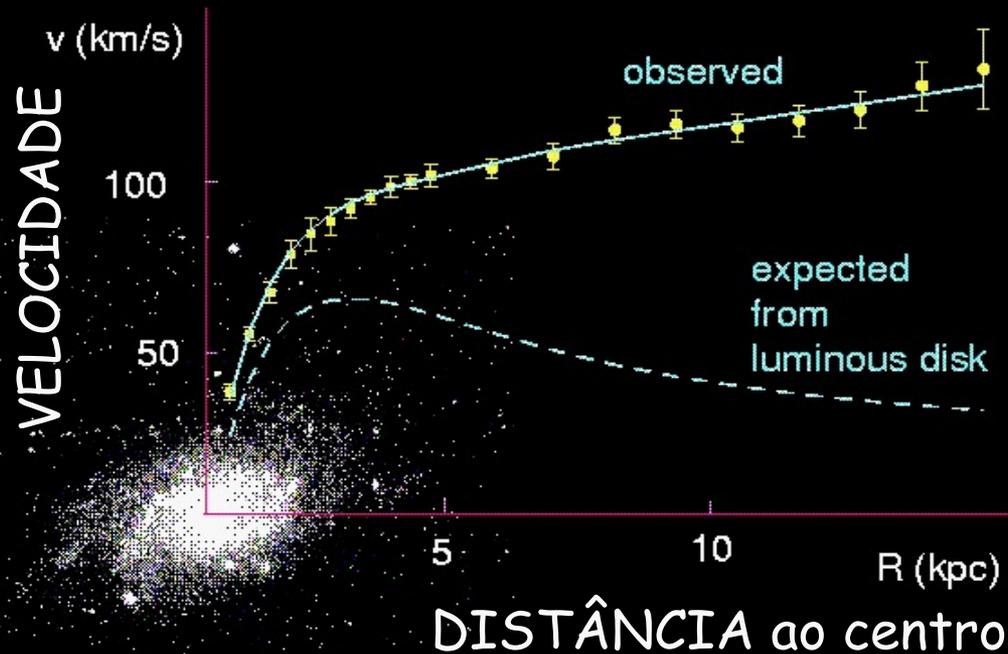
© 2008 3ngel R. L3pez-S3nchez

©2011 Jorge Dias de Deus

pedro abreu - 3 descoberta das part3culas

©2011 Sofia Andringa

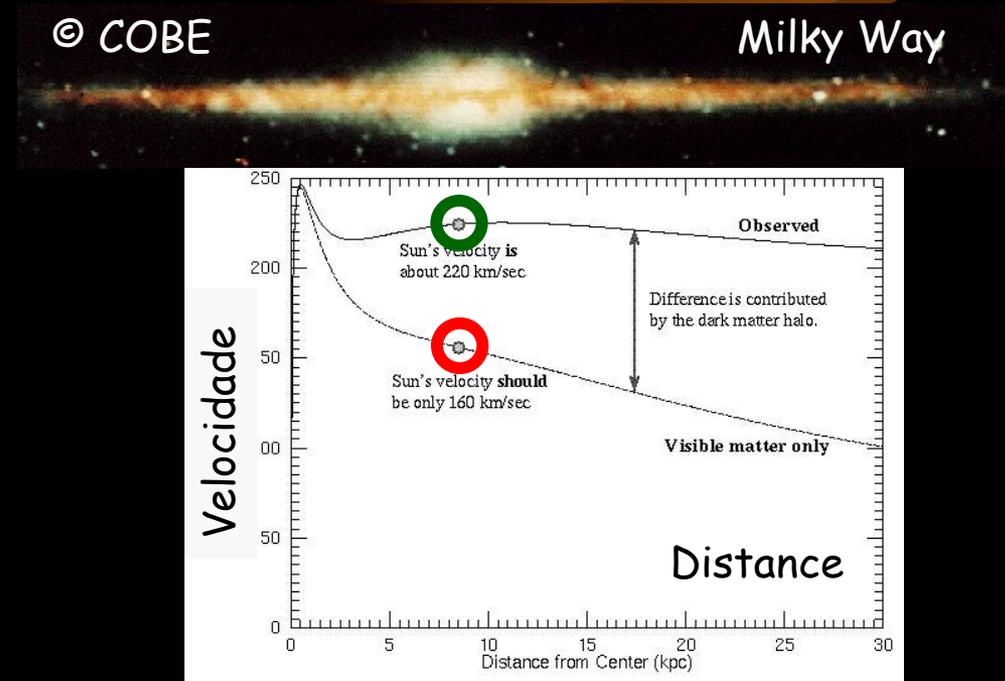
# O Problema da Matéria Escura



©A.De Angelis

Maior fracção de massa não brilha! O que será?!

# Matéria Escura presente na nossa própria Galáxia!



- Distribuída na Galáxia, não agrupada!
- Nenhuma forma de matéria conhecida!

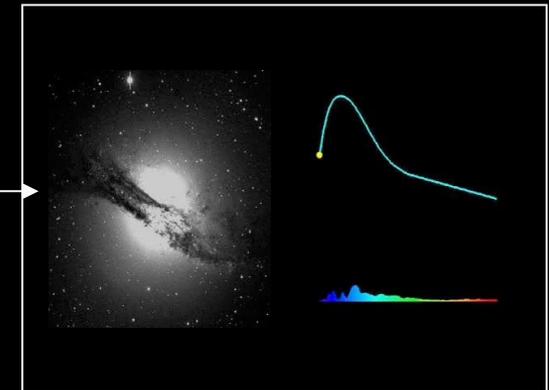
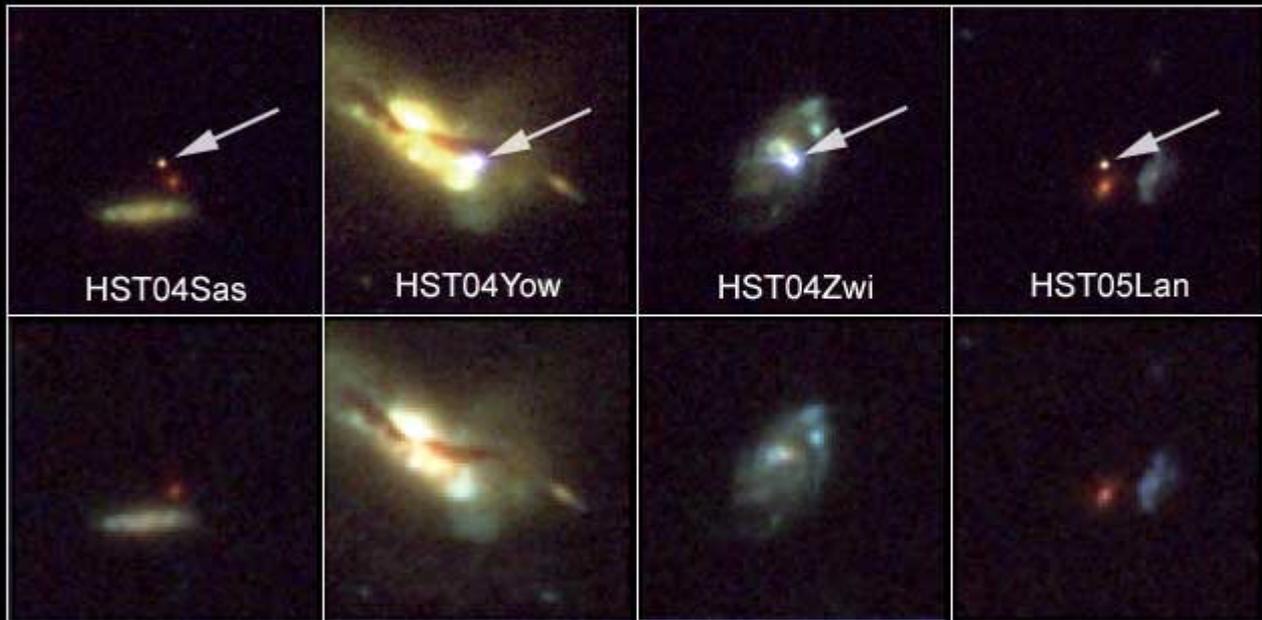
# O Problema da 'Energia Escura'

Cientistas estudam supernovae tipo Ia distantes para medir a evolução da expansão do Universo.

Esperavam que a taxa de expansão diminuísse desde o Big-Bang.

Host Galaxies of Distant Supernovae tipo Ia

HST • ACS/WFC

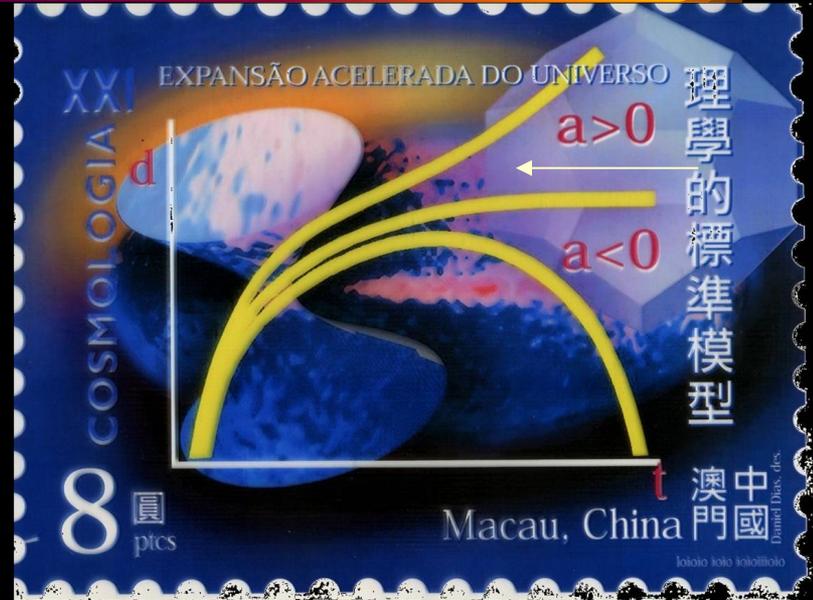


NASA, ESA, and A. Riess (STScI)

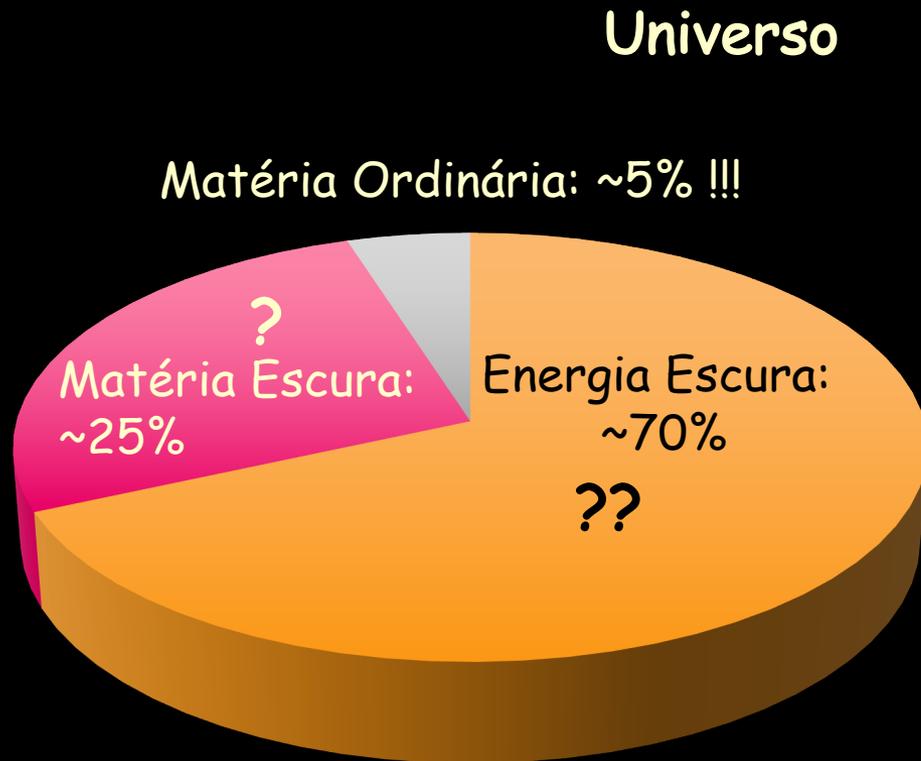
STScI-PRC06-52

# Oops...não está a diminuir!

- A Expansão do Universo está acelerando!!
- Algo se está a sobrepôr à gravidade
- Cientistas chamam-lhe 'Energia Escura'



# De que é que feito o Universo?!



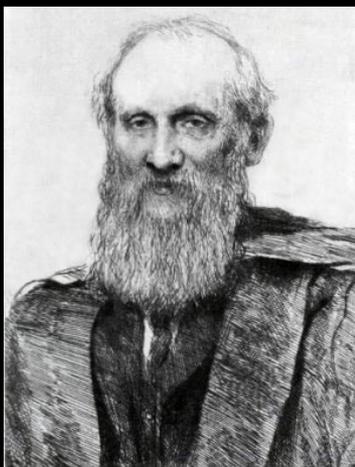
- Energia Escura
- Matéria Escura
- Matéria Ordinária

©2013 PLANCK

**No final do Séc. XIX com a natureza descrita pela mecânica, termodinâmica, e electromagnetismo, a Física parecia completa:**

***"Tudo o que falta fazer em Física resume-se a preencher o valor da 6ª casa decimal"***

**(Albert Michelson, 1894)**



Mensagem à British Association for the Advancement of Science, 1900 :

***"Não há nada fundamentalmente novo para ser descoberto. Tudo o que há a fazer é medir com mais precisão..."***

**(Lord Kelvin, 1900)**

Mas Lord Kelvin também mencionou **'duas nuvens'** no horizonte da Física:

- 1) Radiação do Corpo Negro
- 2) Experiências de resultado nulo de

(Albert )Michelson – (Edward )Morley

**No final do Séc. XX com a *nova* natureza descrita pela Teoria Quântica de Campos e pelo {partículas elementares} constituindo o Modelo Padrão das partículas e interações fundamentais, também aqui a Física parece resolvida:**

*“Com a descoberta iminente do bóson de Higgs, não há nada fundamentalmente novo para ser descoberto. Tudo o que há a fazer é medir com mais precisão...”* (trad. livre, adaptado)  
(Stephen Hawking, 1998)

Mas ainda há algumas questões a resolver no horizonte da Física:

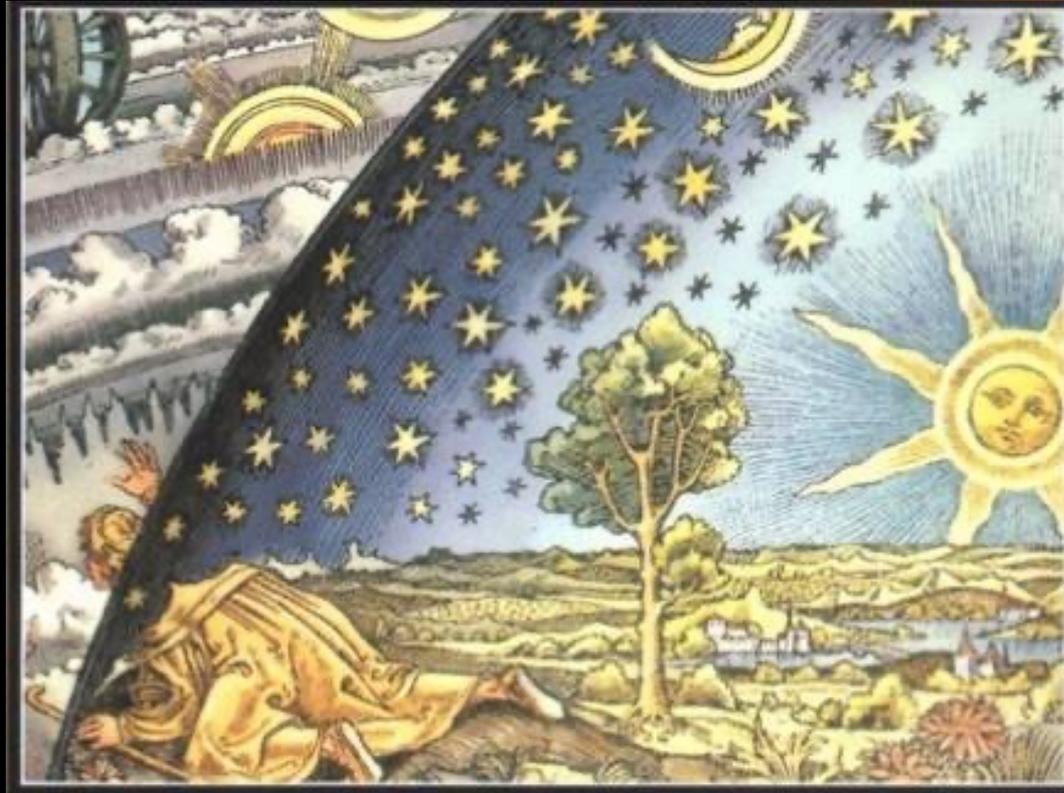
- 1) Matéria e energia escuras
- 2) Experiências de resultado nulo na pesquisa de sinais de nova física até  $\sim 1$  TeV  
(e Origem da enorme e pequeníssima assimetria matéria-antimatéria)



# ...e temos muitas Nuvens!!!

- (Matéria e Energia Escuras! )
- Onde pára a Antimatéria (ou a Assimetria M-aM ?)
- Porquê 3 famílias ?
- Porque é que as massas das partículas elementares são o que são?
- Porque é que os neutrinos são muito mais leves do que os leptões carregados e os quarks?
- Será que as 3 (ou 4) forças se unificam a alguma escala?
- Será que as partículas elementares são mesmo elementares?

# Obrigado pela v/ atenção



Albert Einstein [P.N.1921]: (Com o conhecimento...)

*"podemos olhar para o Universo como se não existissem milagres.  
Mas também podemos olhar para o Universo como se tudo fosse um milagre!"*