

No LIP...à descoberta das Partículas

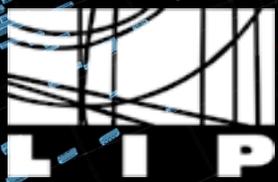


A nossa compreensão da estrutura da matéria
A nossa INcompreensão da estrutura do universo

Pedro Abreu
LIP, IST

Ocupação
Científica
Jovens em
Férias

29 Junho 2015

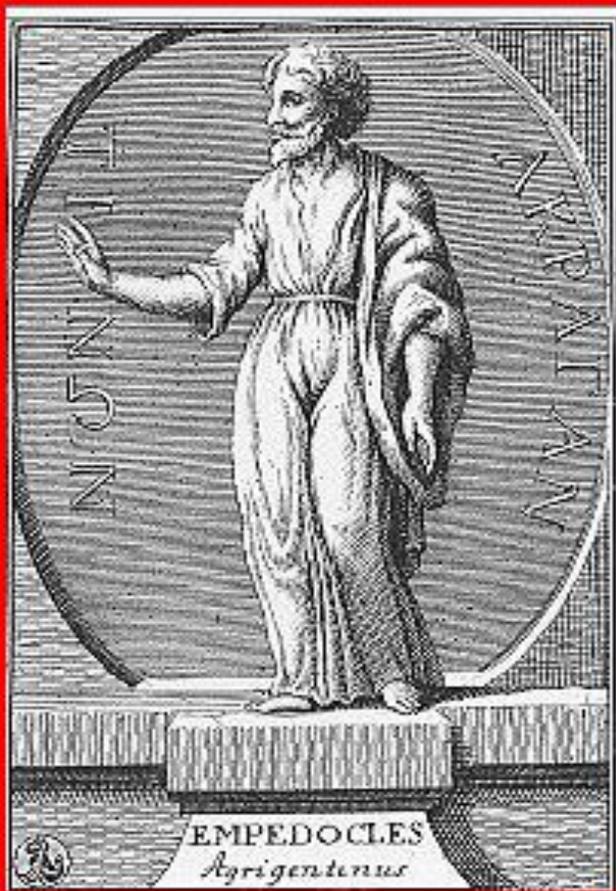


AGÊNCIA NACIONAL
PARA A CULTURA
CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

SOMOS FEITOS DE QUÊ ?!

Thales de Mileto, séc.VII a.C.: tudo é água!

Empédocles, séc.V a.C.: os 4 elementos!



FOGO

AR

ÁGUA

TERRA

+a quintessência
(referida por Aristóteles no
séc.III a.C.)

+A-Tomos
(Leucipo e Demócrito,
séc. V a.C.)

(ideia de átomos tb. introduzida na Índia no séc. VI a.C.)

(c)2015 Gaspar Barreira

Somos feitos de quê, mesmo?



Somos feitos de...

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

Constituídas por elementos como

Reihen	Gruppe I. R ² O	Gruppe II. RO	Gruppe III. R ² O ³	Gruppe IV. RH ⁴ RO ²	Gruppe V. RH ³ R ² O ⁵	Gruppe VI. RH ² RO ³	Gruppe VII. RH R ² O ⁷	Gruppe VIII. RO ⁴
1	H = 1							
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		
11	(Au = 199)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208			
12				Th = 231		U = 240		

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

©1869 Dmitri Mendeleev

...ESTRUTURA ELECTRÓNICA!

E os elementos? => São átomos! e o átomo? Bem,

O Átomo é feito de:

VAZIO

(99,999 999 999 9% do volume)

(núcleo x100)

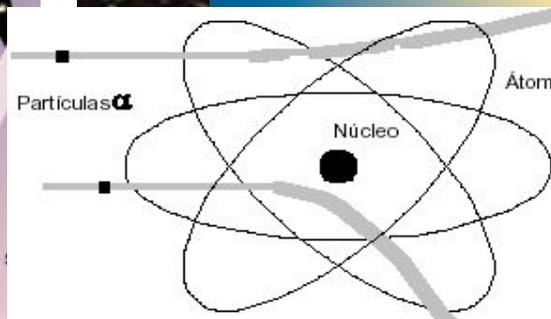
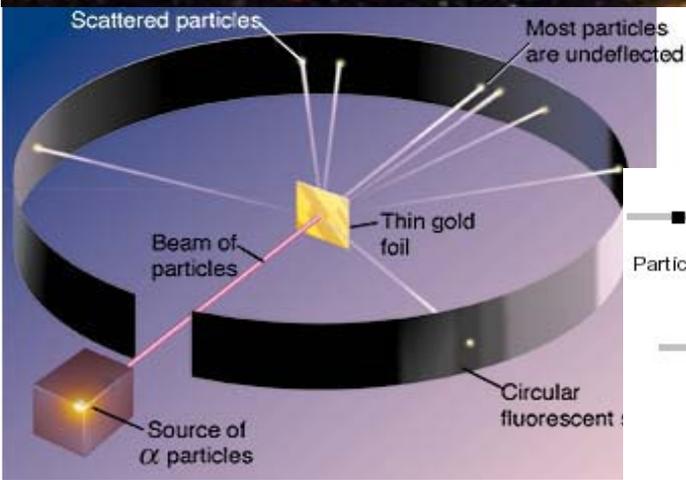
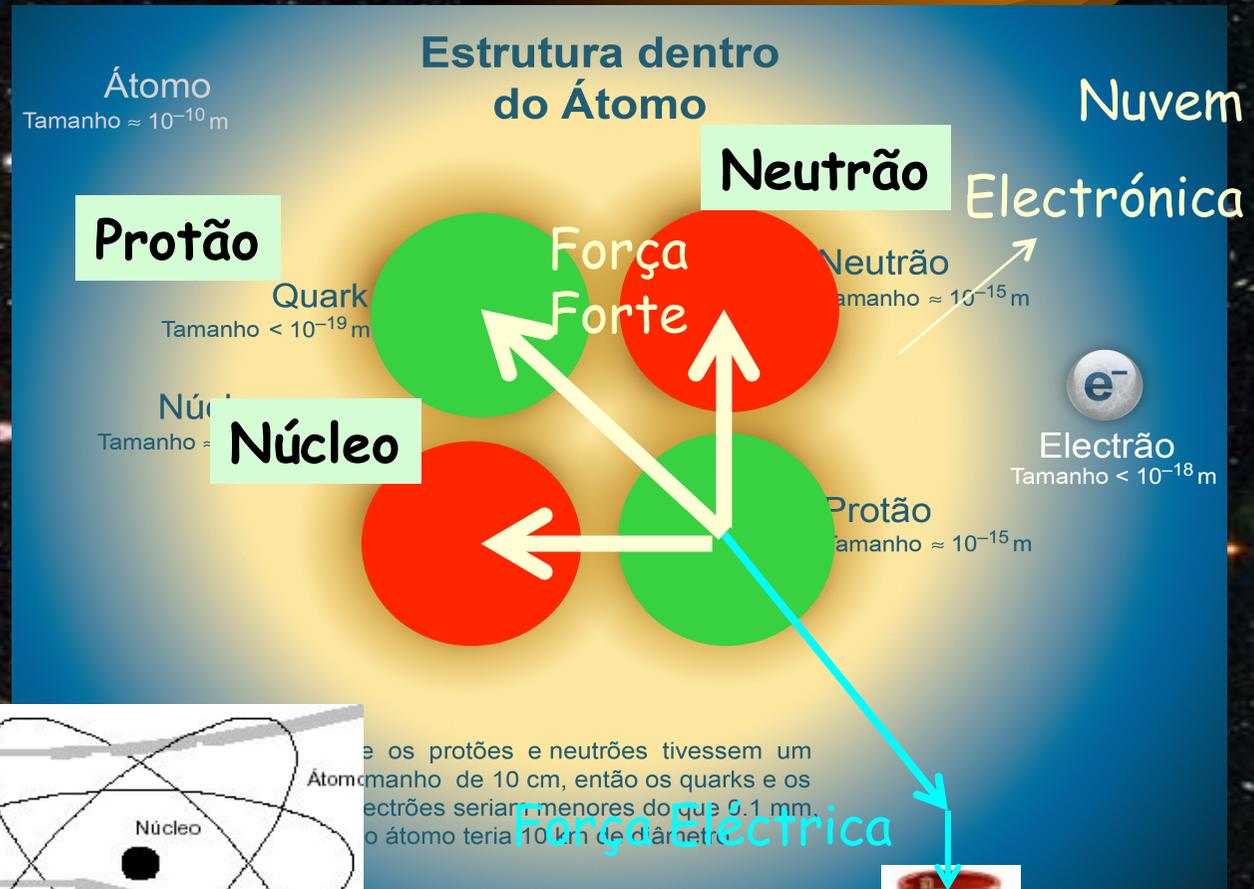
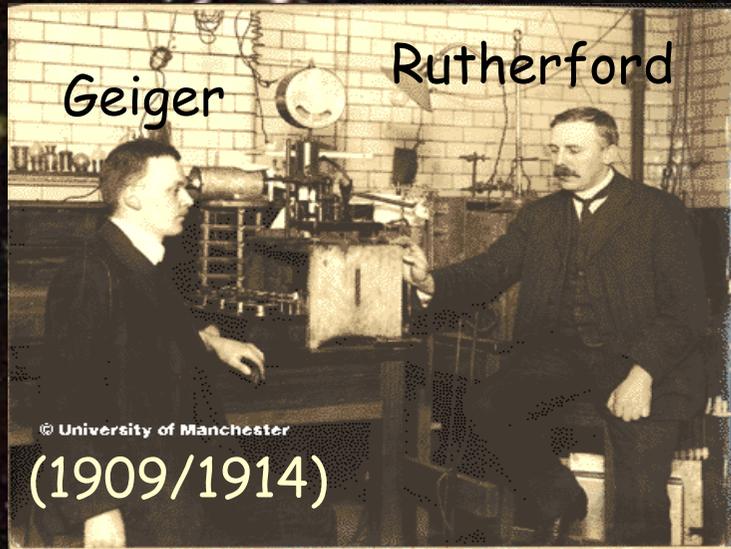
(raio médio órbita dos electrões)

Uma questão de escala...



E os Núcleos ?!

Núcleo rodeado por uma nuvem electrónica!

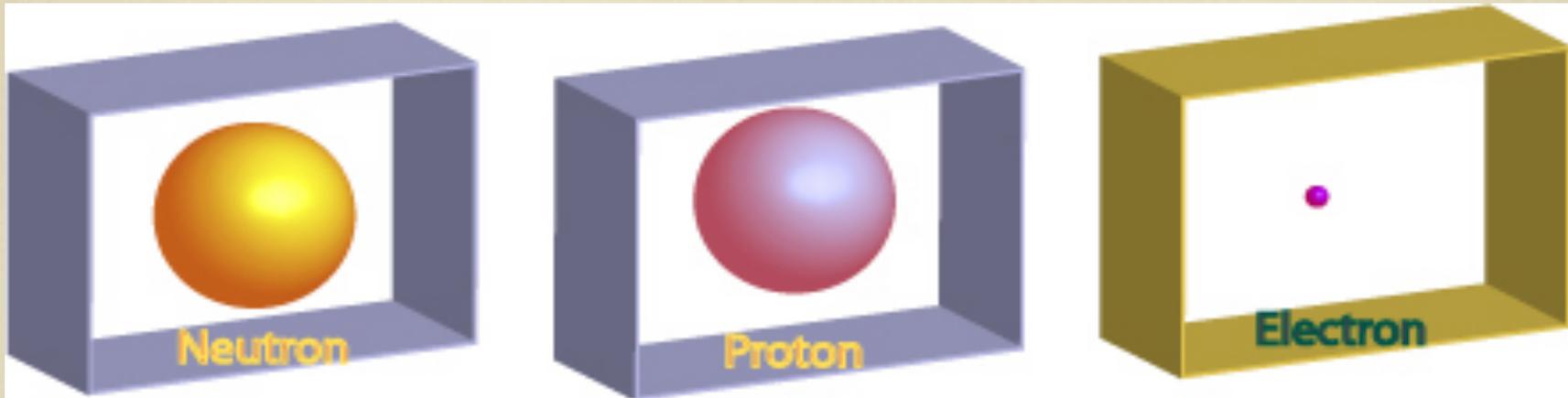


Se os prótons e neutrões tivessem um tamanho de 10 cm, então os quarks e os electrões seriam menores do que 0.1 mm. O átomo teria 10 km de diâmetro.



PARTÍCULAS

Espectro de Partículas Elementares (1932)



neutrão

protão

electrão

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

Jardim Zoológico

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

HADRÕES

π^+ π^- π^0
Pions

η'
Eta-Prime

η
Eta

ρ^+ ρ^- ρ^0
Rho

K^+ K^- K^0
Kaons

ϕ
Phi

(todas instáveis)
MESÕES

Δ^{++} , Δ^+ , Δ^0 , Δ^-
Delta

Σ^+ , Σ^0 , Σ^-
Sigma (estranho!)

Ξ^0 , Ξ^-
Sigma(muito estranho!)

p , n
protão, neutrão

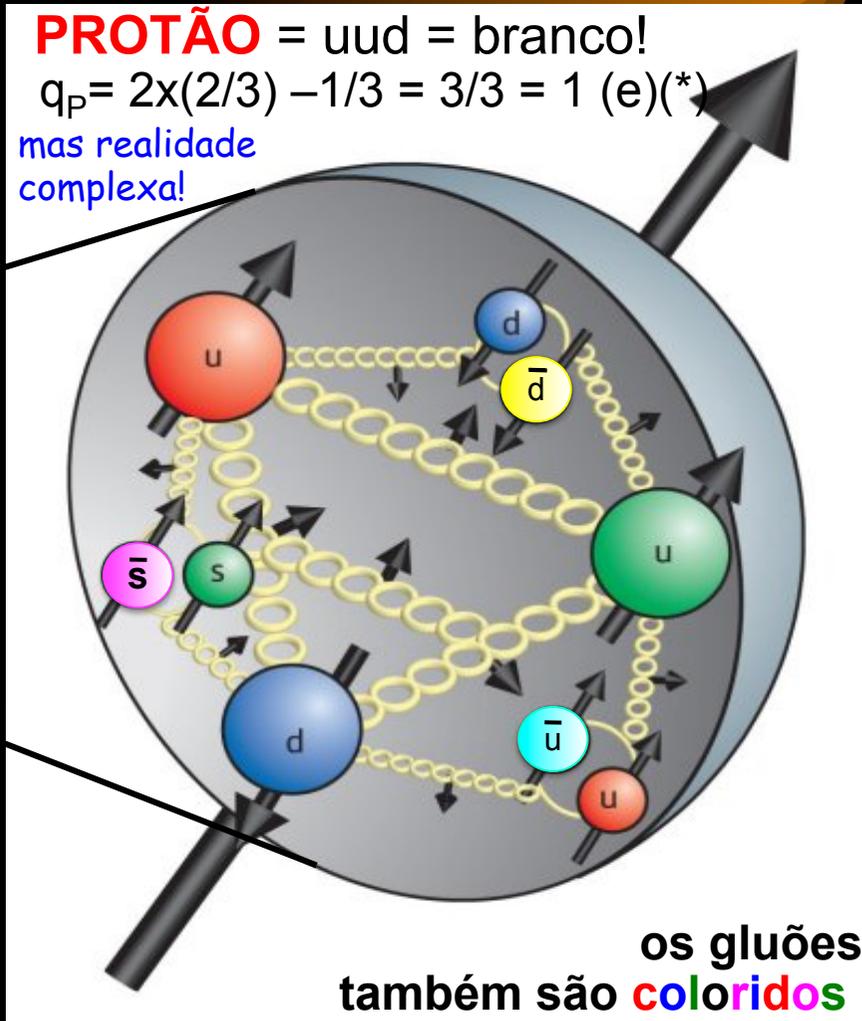
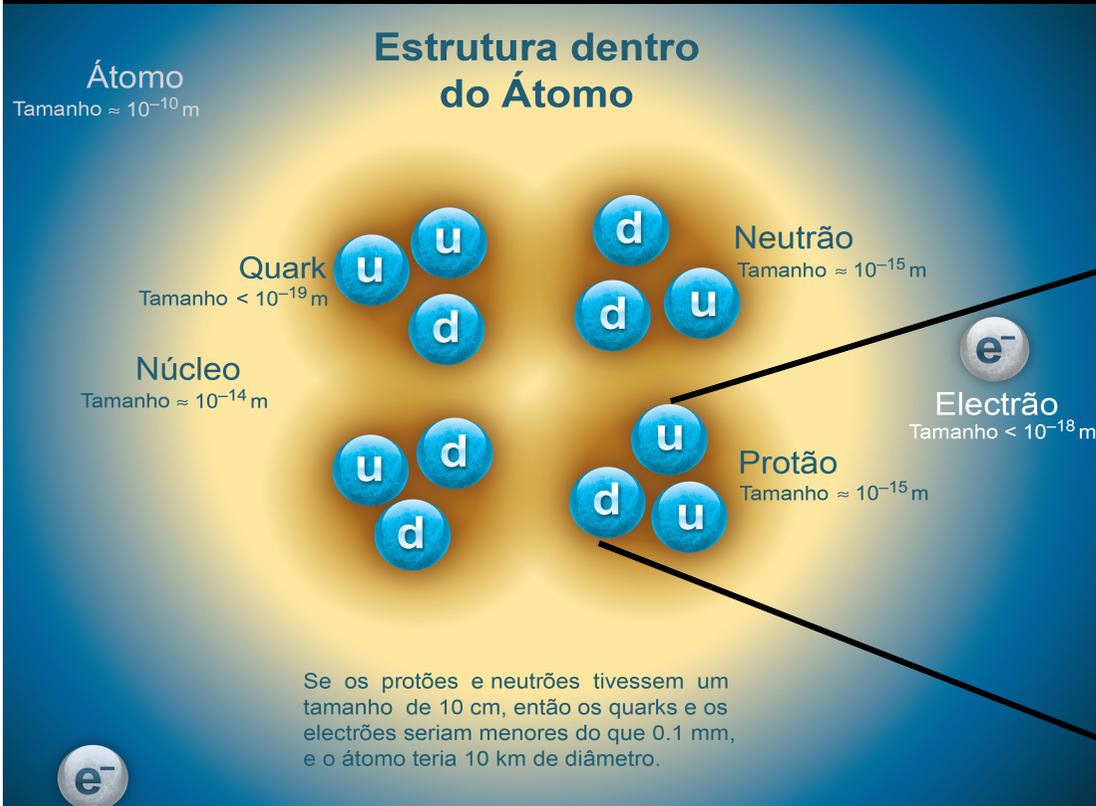
Λ^0
Lambda (estranho!)

(decaem até ao protão)
BARIÕES

Qual seria a 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)]	"Cor" (r,g,b)
u (up)	+2/3 (e)	+1/2	● ● ●
d (down)	-1/3 (e)	+1/2	● ● ●



(*) e NEUTRÃO = udd (também fica branco)
 $q_N = 2/3 - 2 \times (1/3) = 0$

Mas $m_p = 0,938 \text{ GeV}/c^2 \approx 1 \text{ GeV} \gg \sum m_q$

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 ²	Carga Eléctrica	Sabor	Massa Aprox. GeV/c ²	Carga Eléctrica
ν_L neutrino* mais leve	$(0-2) \times 10^{-9}$	0	u up	0.002	2/3
e electrão	0.000511	-1	d down	0.005	-1/3
ν_M neutrino* intermédio	$(0.009-2) \times 10^{-9}$	0	c charm	1.3	2/3
μ muão	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_H neutrino* pesado	$(0.05-2) \times 10^{-9}$	0	t top	173	2/3
τ tau	1.777	-1	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 = 1.05×10^{-34} J s.

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

A unidade de **Energia** em física de partículas é o **eV** (electron volt) ao atravessar a diferença de potencial de um volt. Mas em que $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-10}$ joule. A massa do próton é $0.938 \text{ GeV}/c^2 = 1.67 \times 10^{-27}$ kg.

Neutrinos

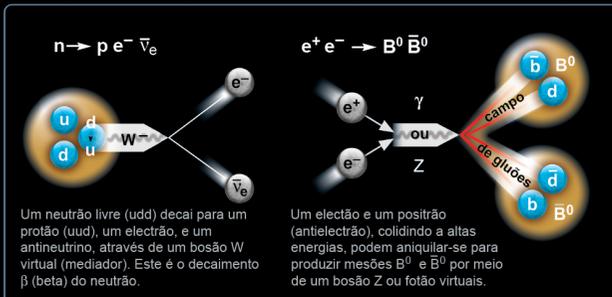
Os neutrinos são produzidos no Sol, supernovas, reactores nucleares, colisões em aceleradores, e muitos outros processos. Qualquer neutrino pode ser descrito como um de três estados de sabor de neutrinos: ν_e, ν_μ , ou ν_τ , de acordo com o tipo de leptão associado na sua produção. Cada estado destes é uma mistura quântica de três estados de massa de neutrinos ν_L, ν_M , e ν_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, γ , e $\eta_c = c\bar{c}$, mas não $K^0 = d\bar{s}$) são as próprias antipartículas.

Processos com Partículas

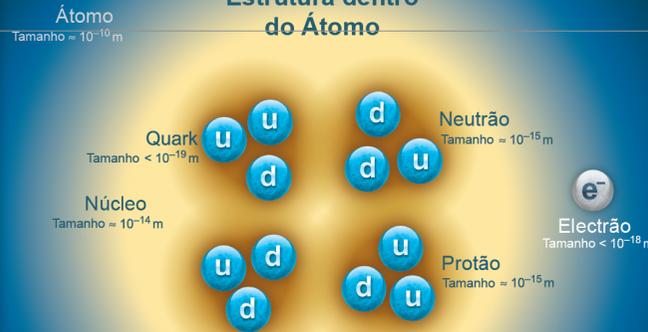
Estes diagramas são concepções artísticas. Áreas alaranjadas representam as névns de glúões.



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 β (beta) do neutrão.

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.

Estrutura dentro do Átomo



Se os prótons e neutrões tivessem um tamanho de 10 cm, então os quarks e os electrões seriam da ordem de 10^-14 cm.

BOSÕES

mediadores da força
spin = 0, 1, 2, ...

Electrofraca spin = 1			Forte (cor) spin = 1		
Nome	Massa GeV/c ²	Carga Eléctrica	Nome	Massa GeV/c ²	Carga Eléctrica
γ fóton	0	0	g glúão	0	0
W^- bósons W	80.39	1	Bosão de Higgs spin = 0		
W^+ bósons W	80.39	+1	Nome	Massa GeV/c ²	Carga Eléctrica
Z bóson Z	91.188	0	H 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 visíveis. Os glúões são sempre carregados e interagem trocando cor interagindo trocando glúões.

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

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)	$W^+ W^- Z^0$	γ	Glúões
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

partículas "coloridas" (quarks e glúões) se afastam, a energia no campo de forças de cor entre elas aumenta. Esta energia pode ser convertida em sucessivos pares quark-antiquark. Estes quarks (q) e antiquarks (\bar{q}) combinam-se em hádrões, que são as partículas observáveis.

Dois tipos de hádrões 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 π^+ (u \bar{d}), kaão K^+ (u \bar{s}), e B^0 (db).

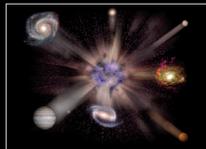
Saiba mais em ParticleAdventure.org



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 Csmicos?

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).

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 ²	Carga Eléctrica	Sabor	Massa Aprox. GeV/c ²	Carga Eléctrica	
1956 ν_L neutrino* mais leve	$(0-2) \times 10^{-9}$	0	u up	0.002	2/3	1964
1897 e electrão	0.000511	-1	d down	0.005	-1/3	1964
1962 ν_M neutrino* intermédio	$(0.009-2) \times 10^{-9}$	0	c charm	1.3	2/3	1974
1937 μ muão	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3	1964
2001 ν_H neutrino* pesado	$(0.05-2) \times 10^{-9}$	0	t top	173	2/3	1996
1975 τ tau	1.777	-1	b bottom	4.2	-1/3	1977

E como é que interagem as partículas?



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	γ	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 interações incompreendidas! (Relações Humanas, etc.)

Interações: Troca de Partículas!



BOSÕES

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

Electrofraca

spin = 1

Nome	Massa GeV/c ²	Carga Eléctrica
γ fotão	0	0
W^-	80.39	1
W^+ bosões W	80.39	+1
Z bosão Z	91.188	0

Forte (cor)

spin = 1

Nome	Massa GeV/c ²	Carga Eléctrica
g gluão	0	0

Bosão de Higgs

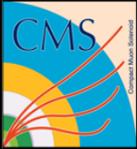
spin = 0

Nome	Massa GeV/c ²	Carga Eléctrica
H Higgs	126	0



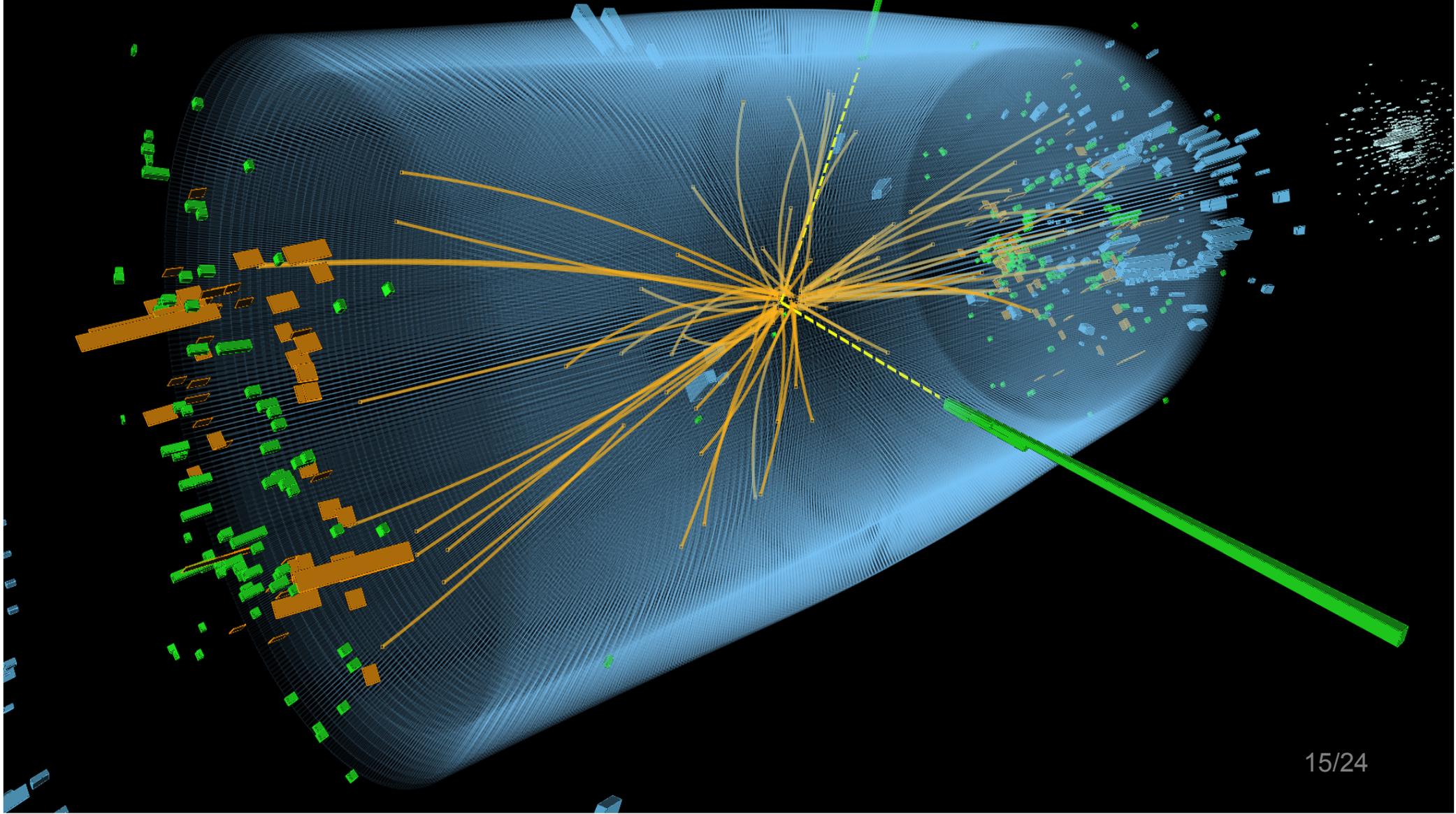
O Campo de Higgs e o bóson de Higgs



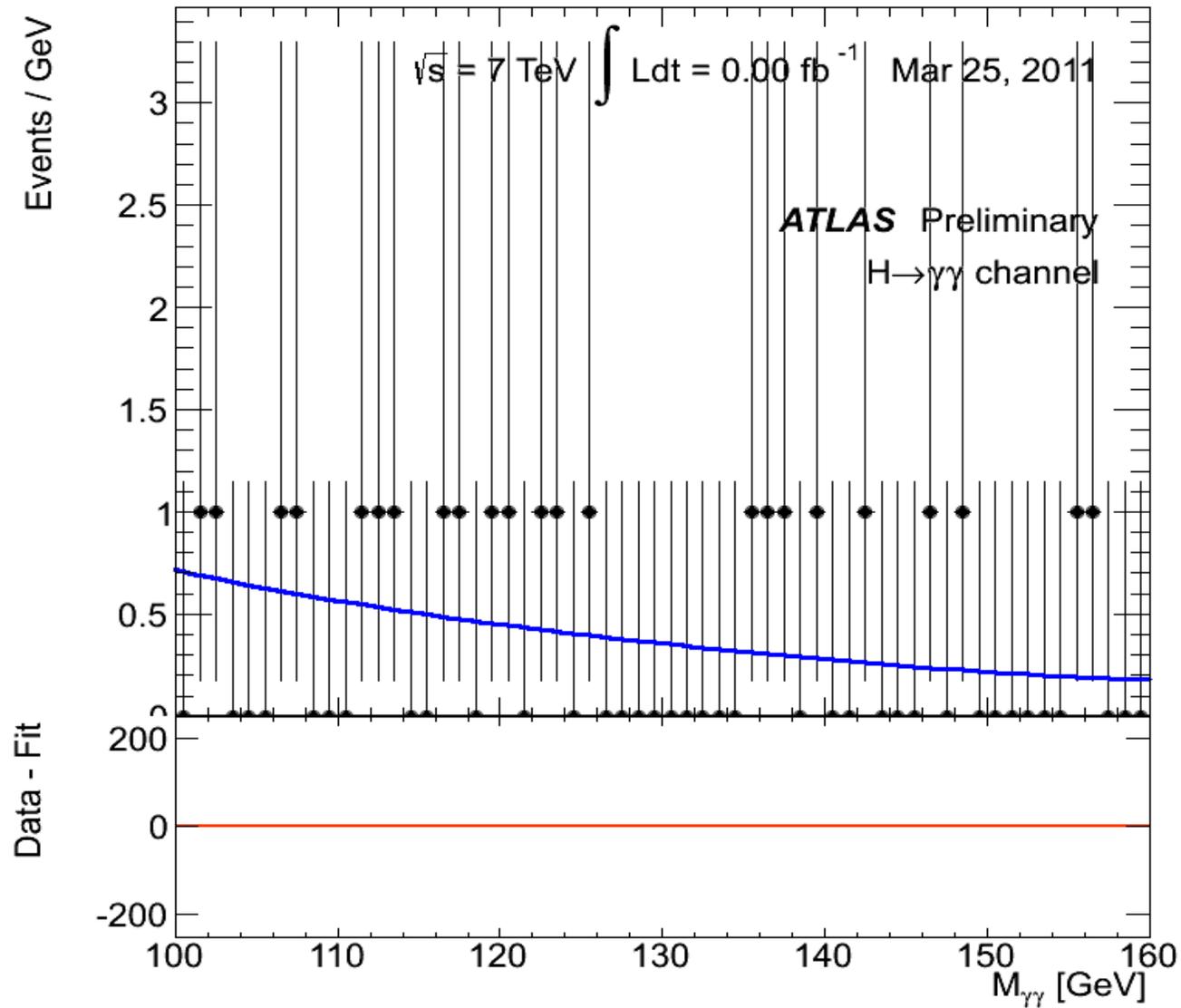


CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT
Run/Event: 194108 / 564224000

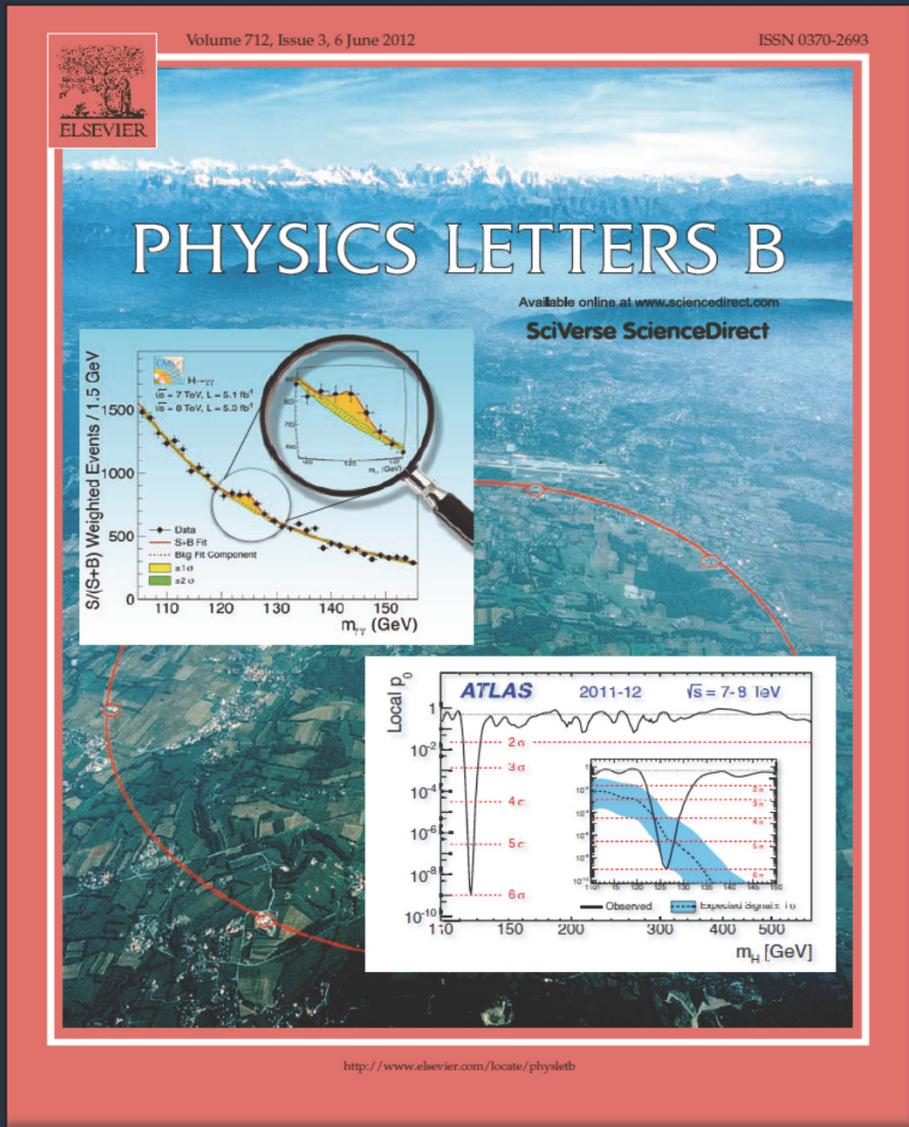
A descoberta: $H \rightarrow \gamma\gamma$



Resultados ATLAS para $H \rightarrow \gamma\gamma$:



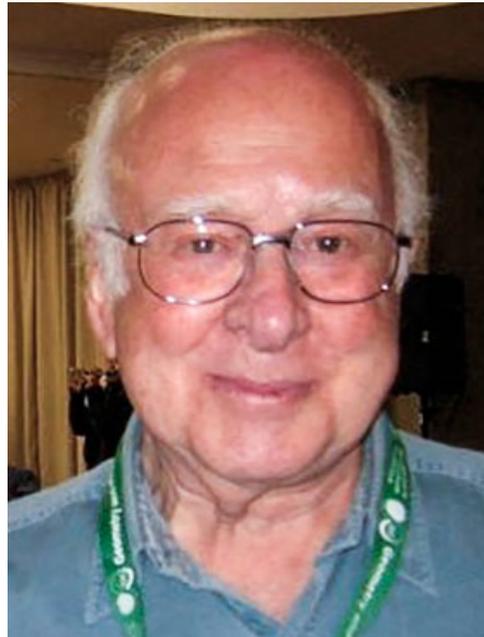
A Descoberta do bóson de Higgs



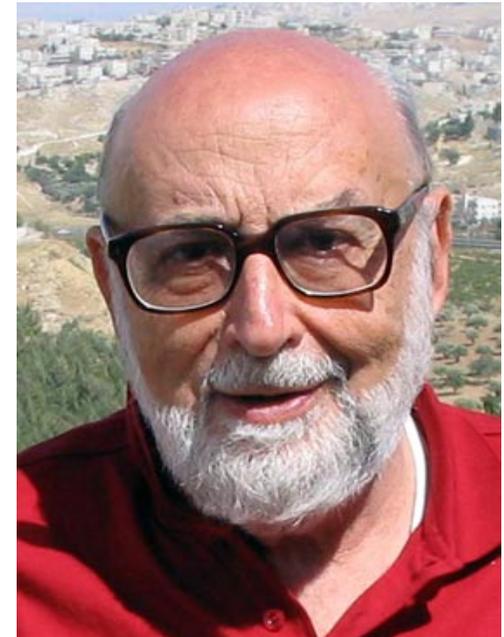
A Descoberta do bóson de Higgs... ...premiada com o Prémio Nobel 2013:



**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**"*

It's collaborative!



VIEWPOINT May 20, 2009, 11:57AM EST

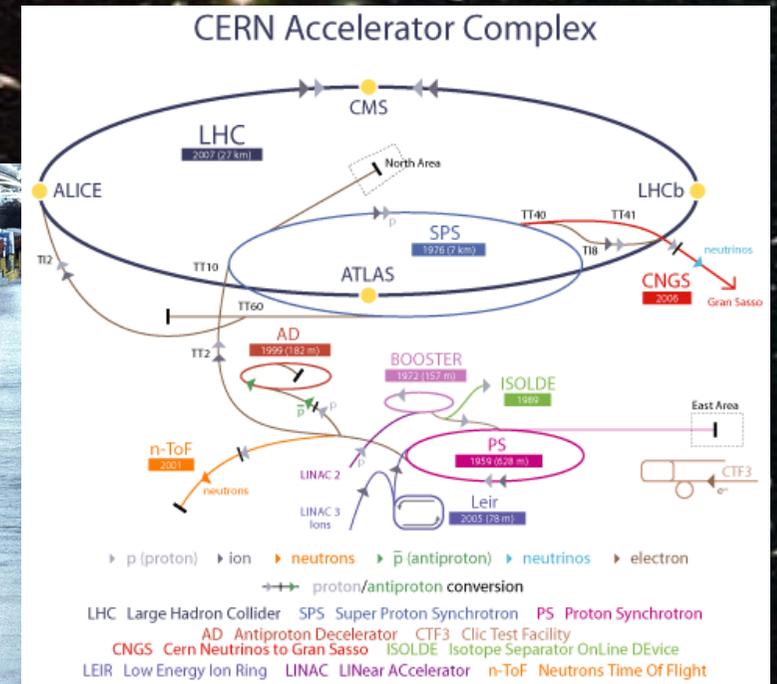
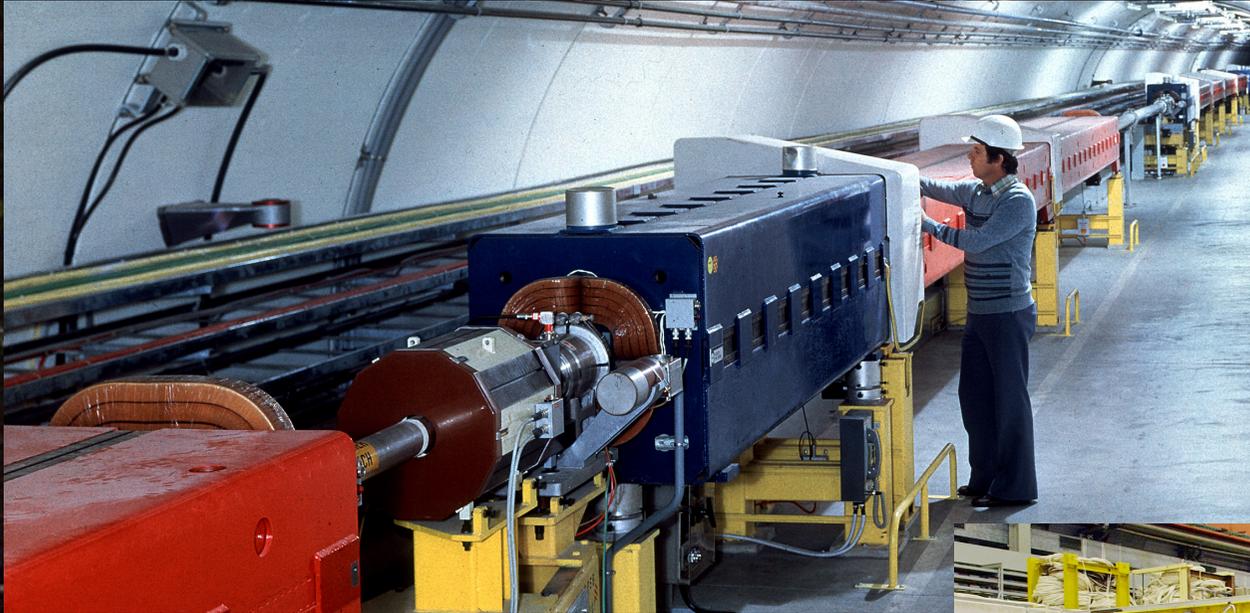
CERN's Collaborative Management Model

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

By [Krisztina Holly](#)

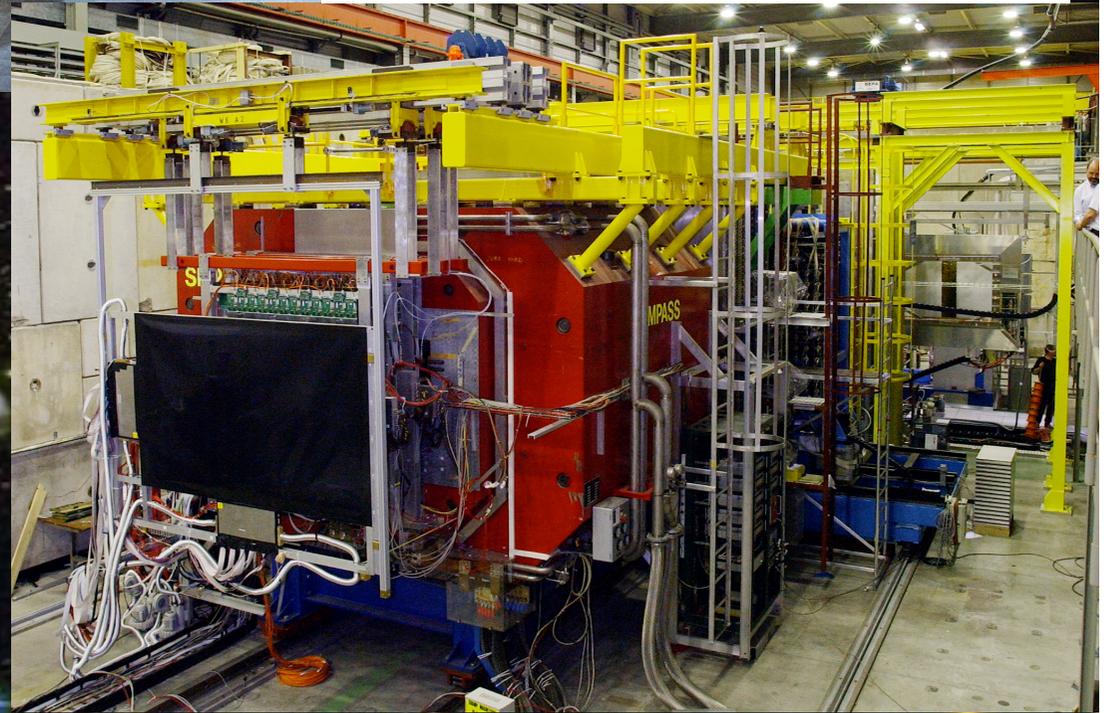
As a business [leader](#), imagine trying to [manage](#) more than 7,000 scientists from 85 countries around the world—with their own languages, cultures, and expertise—on a 20-year collaboration to create the most complex system ever built.

Acelerador SPS



Detector COMPASS

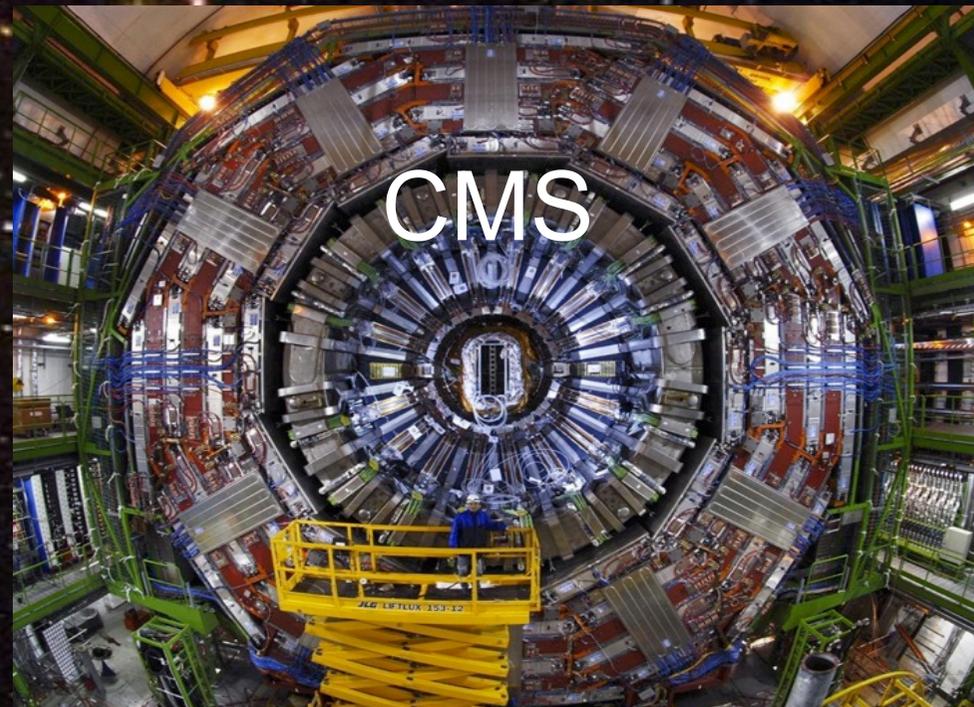
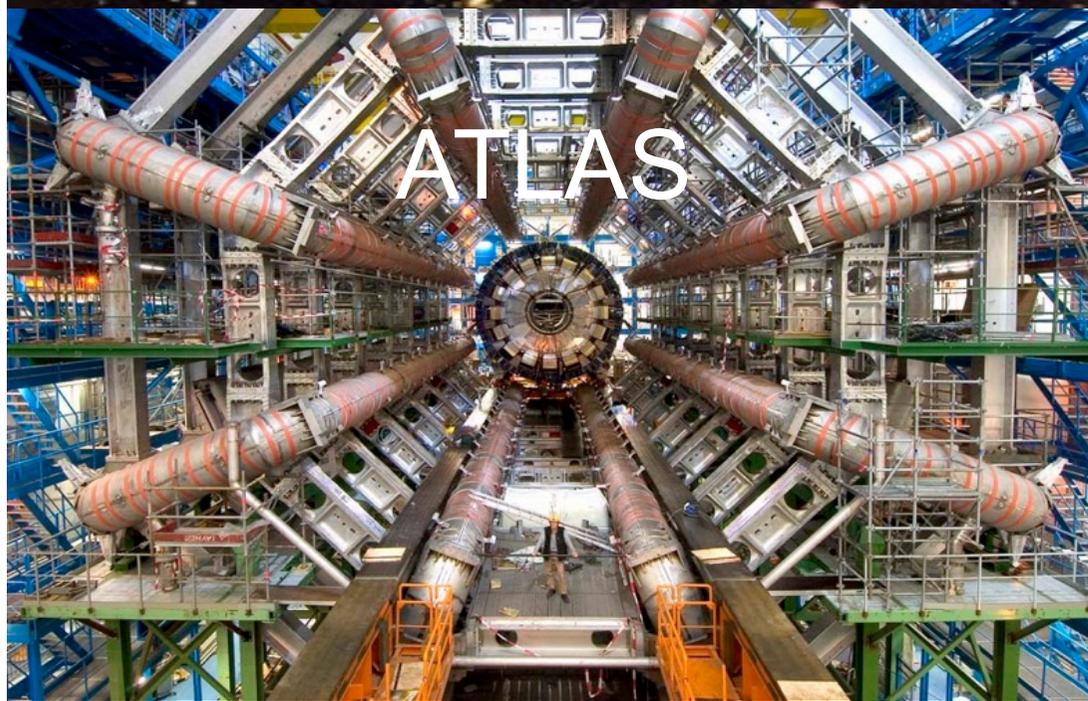
- Contribuições para o spin do próton
- procura de novos *hadrons* (partículas feitas de quarks)



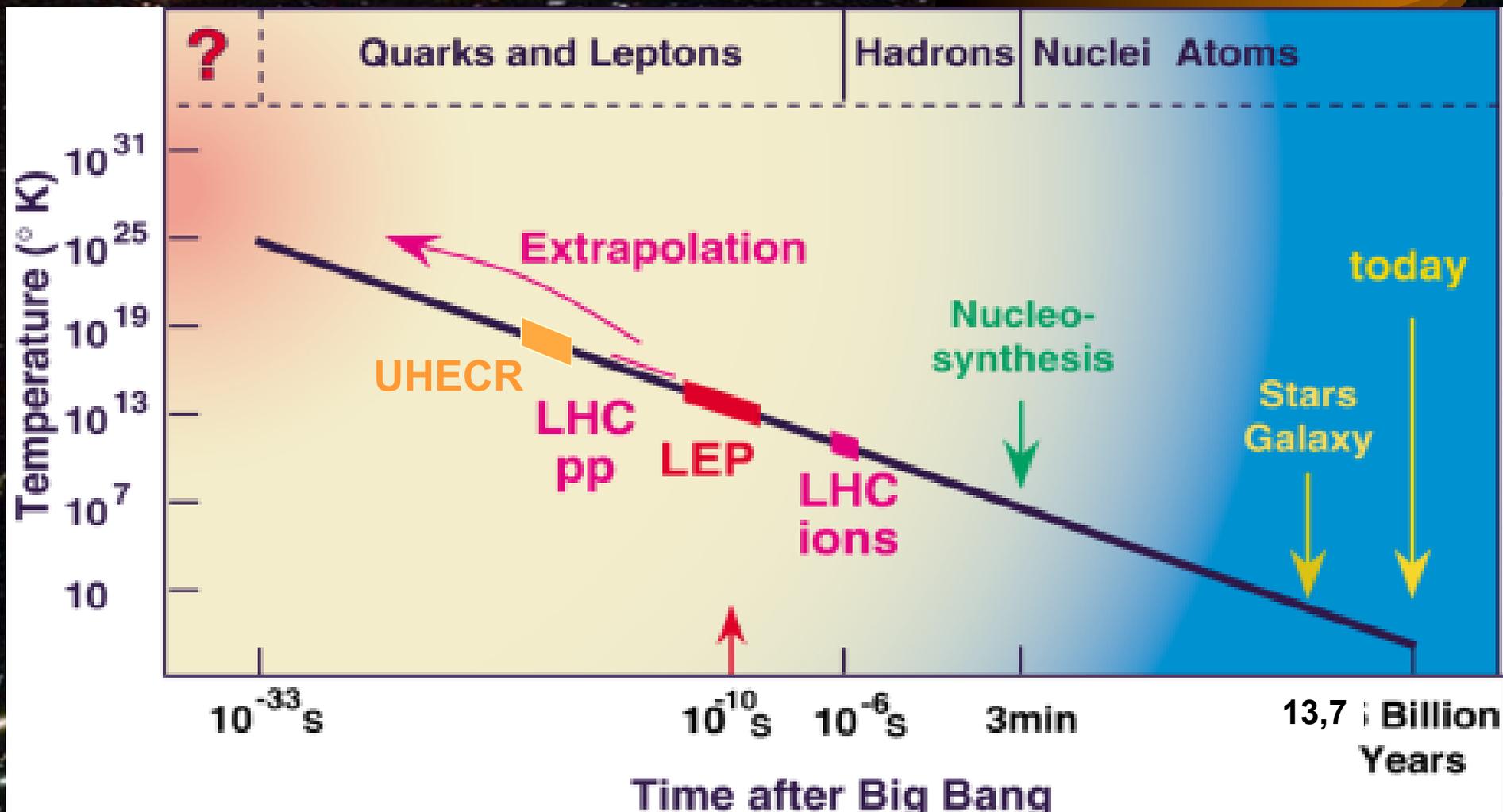
Acelerador LHC



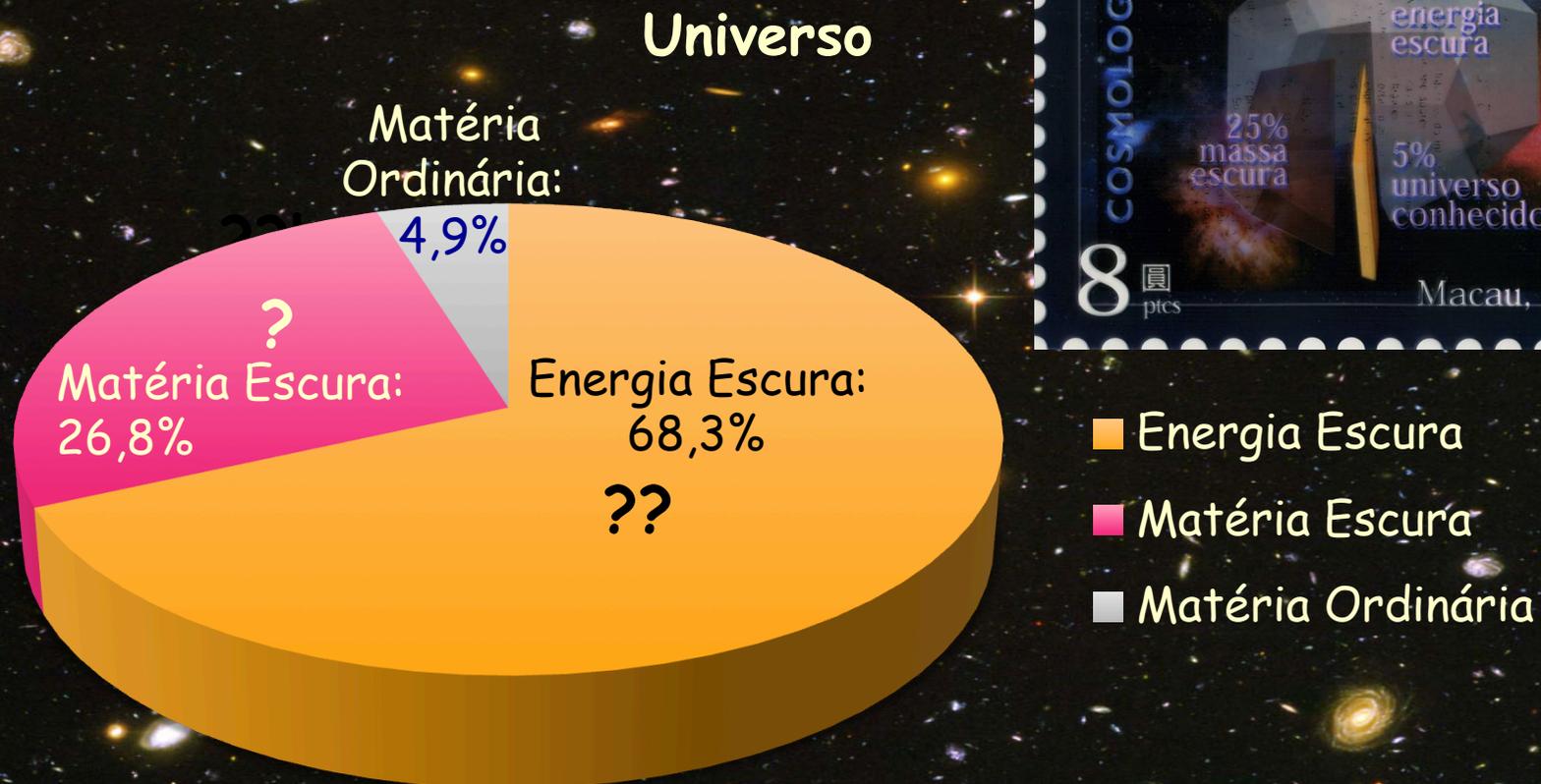
Experiências que estudam o bóson de Higgs e muito +...



Para o início do Universo...



De que é que feito o Universo?!



©2015 PLANCK

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!"*