



# Anjos, Demónios, Matéria e Antimatéria!

*...e o que mais se faz no CERN!*

**Pedro Abreu**  
LIP e IST  
31 de Agosto de 2023

*Visita ao LIP dos  
participantes BR  
na "Escola CERN"*



Adaptado de uma palestra  
preparada pela Colaboração



preâmbulo:

# Para quê estudar Física ?!

O Problema:



# A Solução ?



Não era bem isto...



Oops!... E agora ?!



Bom, vamos lá a ver agora...



Parece que desta vai...

$$a_P > A_p$$

Moral da história:  
**A Física tem um papel crucial no dia-a-dia!**



FIM DO PREÂMBULO

**NOSSO Universo!**

~~**Porquê?!  
Universo!**~~

**O QUÊ?**

**COMO?**





Como cientistas também interessados no cinema, ficámos entusiasmados ao ver *Angels and Demons* trazer a Física fascinante do CERN à atenção do público.

Esta é uma palestra preparada pela Colaboração ATLAS sobre as ligações entre o Filme e a Experiência ATLAS no CERN, e para obter mais informação siga:

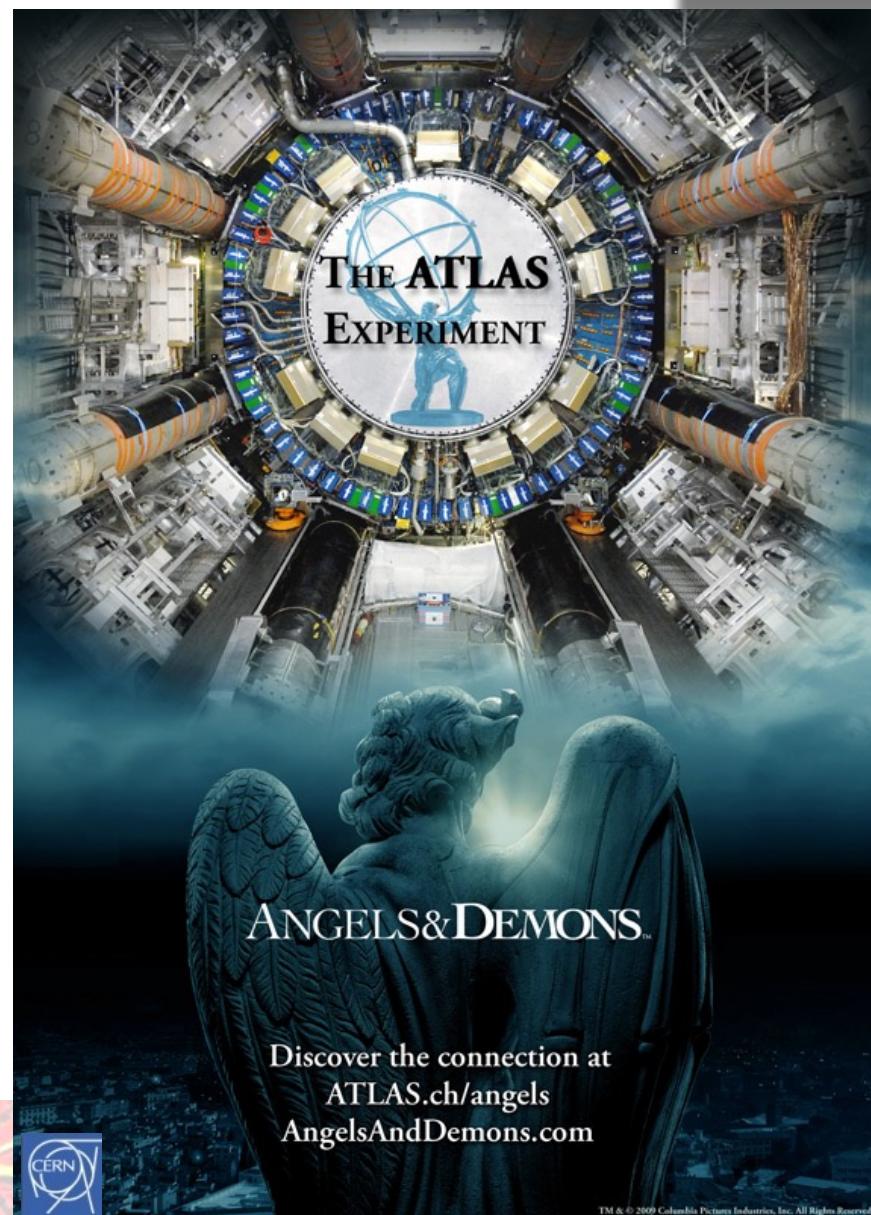
[ATLAS.ch/angels](http://ATLAS.ch/angels)

e

[AngelsAndDemons.com](http://AngelsAndDemons.com)

e

<http://angelsanddemons.cern.ch/>





## ANGELS &amp; DEMONS

TM &amp; © 2009 Columbia Pictures Industries, Inc. All Rights Reserved.

No argumento do filme “Anjos e Demónios”, os maus da fita vão a um laboratório chamado “CERN”.

Roubam meia grama de antimatéria num termo, que depois levam para Roma para usar como uma bomba.



Uma nota de 5 euros pesa 1 grama.  
Uma pena pesa aprox. 1/2 grama.



A Antimatéria Existe! Foi prevista por Paul Dirac em 1928-30, e descoberta nos Raios Cósmicos por Carl Anderson em 1931

$$\left\{ i\hbar \left( \frac{\partial}{\partial x_0} + \alpha_i \frac{\partial}{\partial x_i} \right) + \alpha_4 mc \right\} \psi = 0$$



$$E = mc^2$$

$$E^2 = m^2c^4 + c^2p^2$$

$$E = \sqrt{m^2c^4 + c^2p^2}$$

partícula com energia  $E < 0$   
 =  
 ANTI-partícula com  $E > 0$

Devem existir  
**ANTI-PARTÍCULAS!!!**



**CERN é um laboratório real localizado em Genebra, Suíça  
da Organização Europeia de Pesquisa Nuclear**

**Algumas cenas do  
filme foram  
filmadas na  
Experiência ATLAS  
no laboratório  
CERN.**

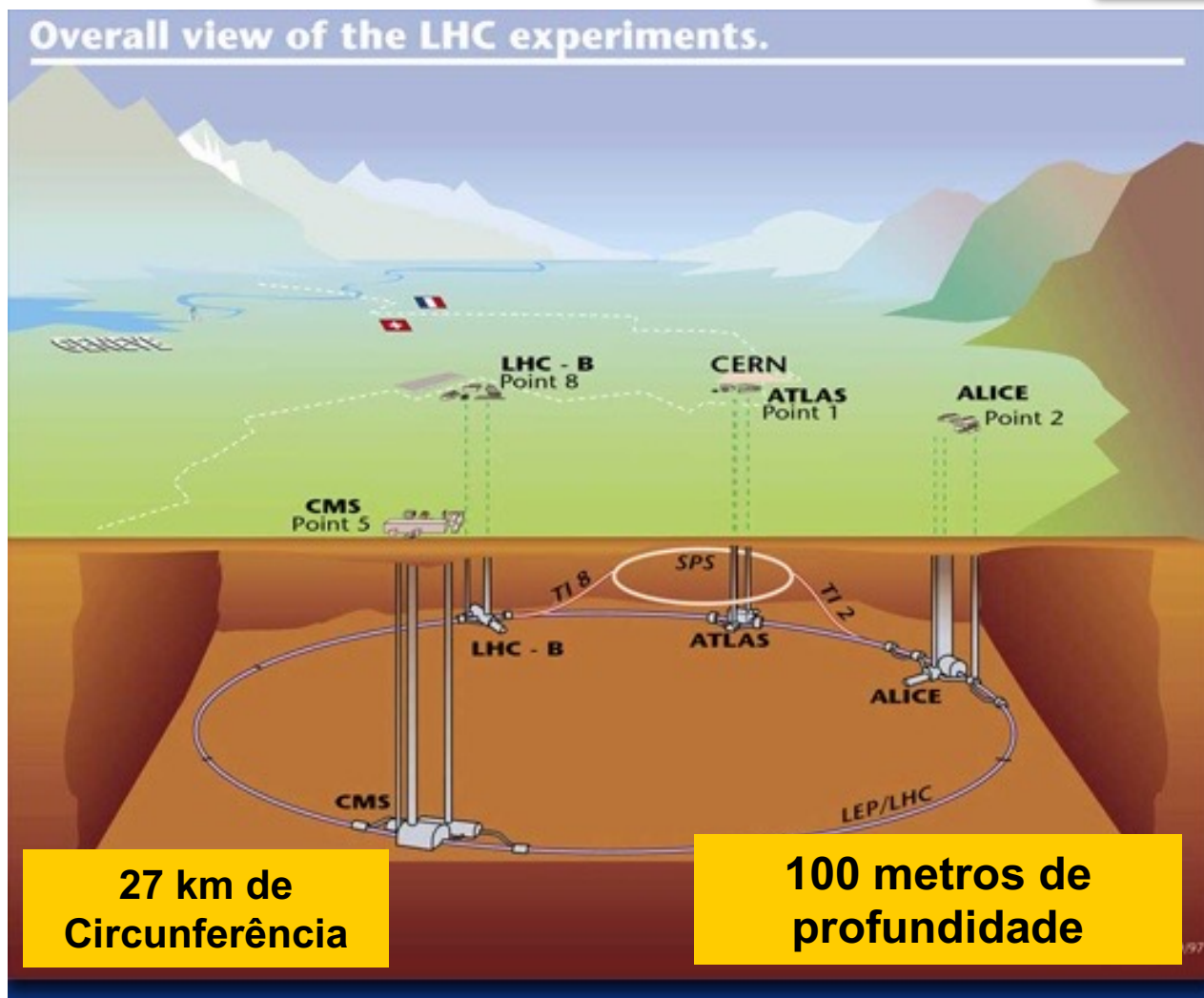


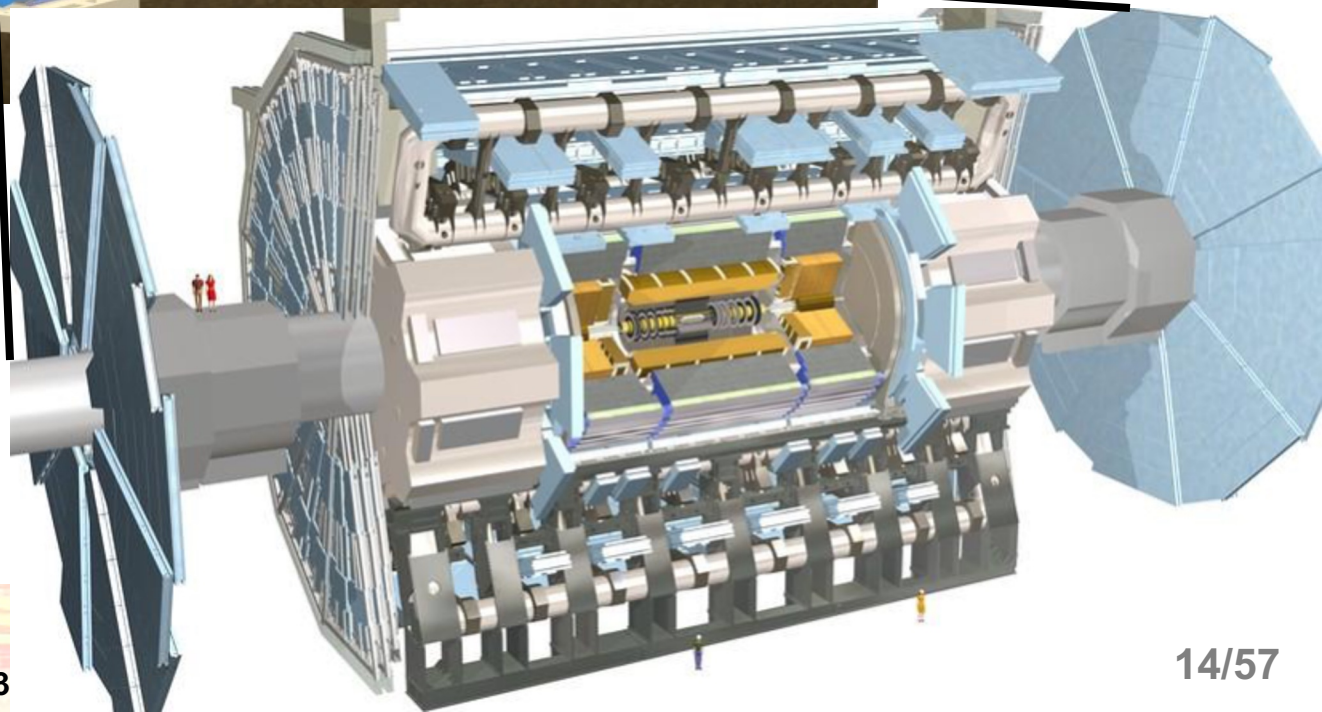


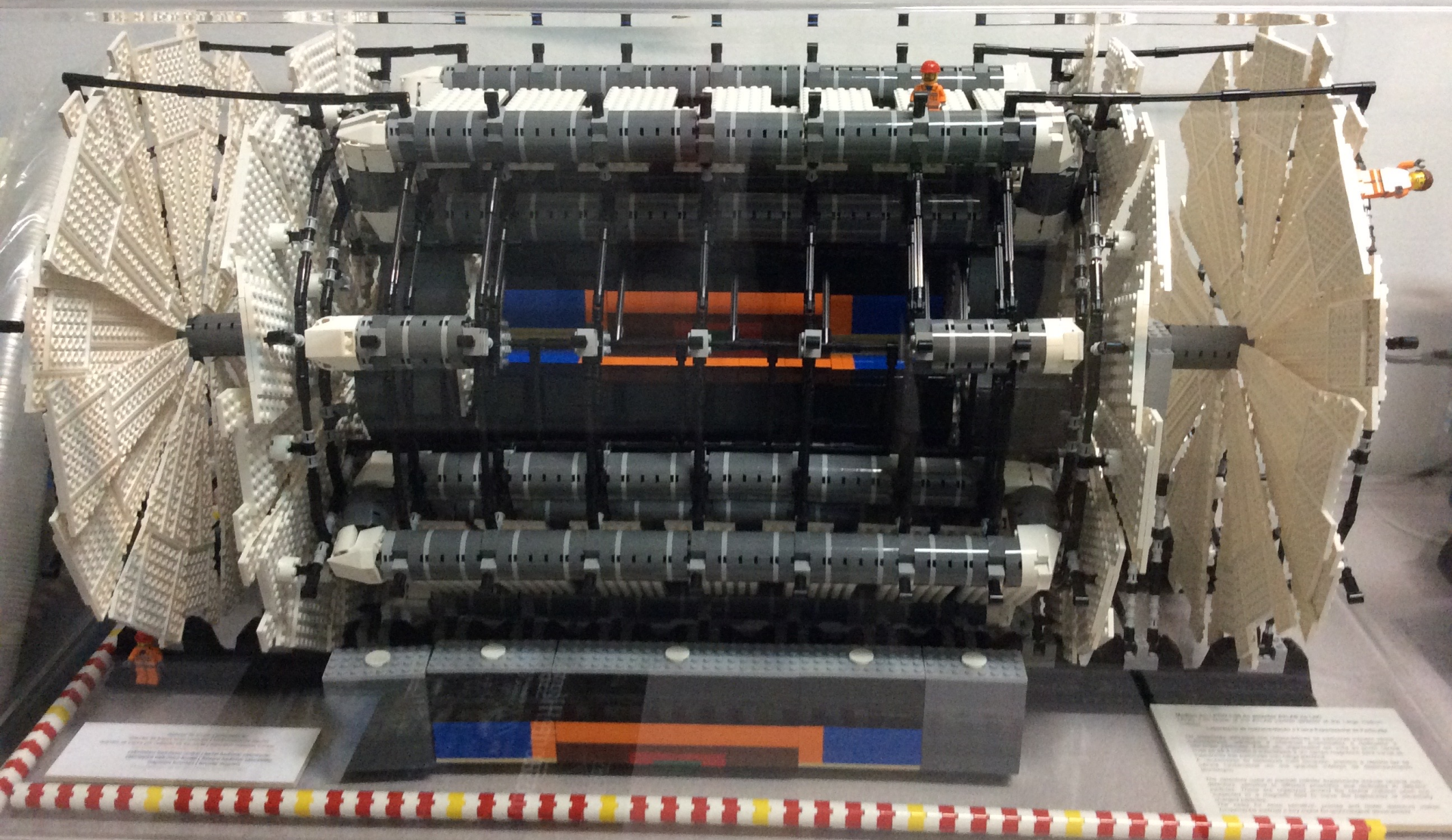
Então, o que é o LHC?

O LHC é um acelerador localizado no CERN

Protões circulam em sentidos opostos e colidem dentro das áreas experimentais





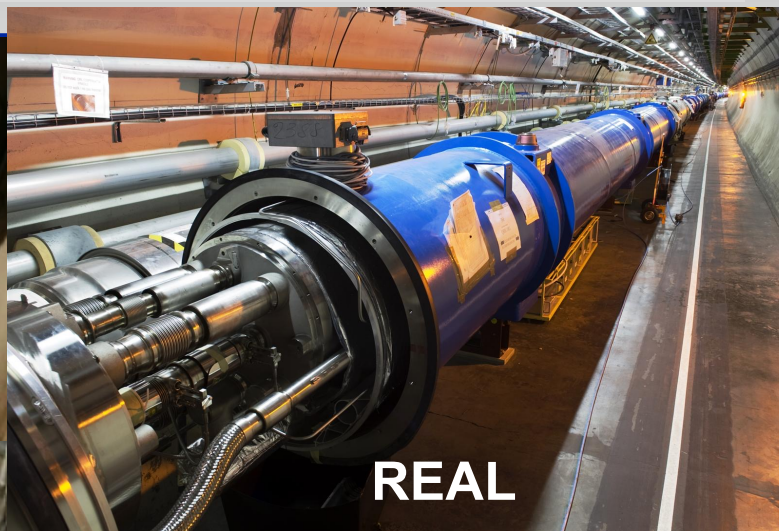




# O CERN real no filme A.&D.



REAL



REAL



REAL

REAL

REAL

LHC a injectar protões, feixe um.





# O CERN ficção no filme A.&D.



FICÇÃO



PALERMICE



FICÇÃO



FICÇÃO

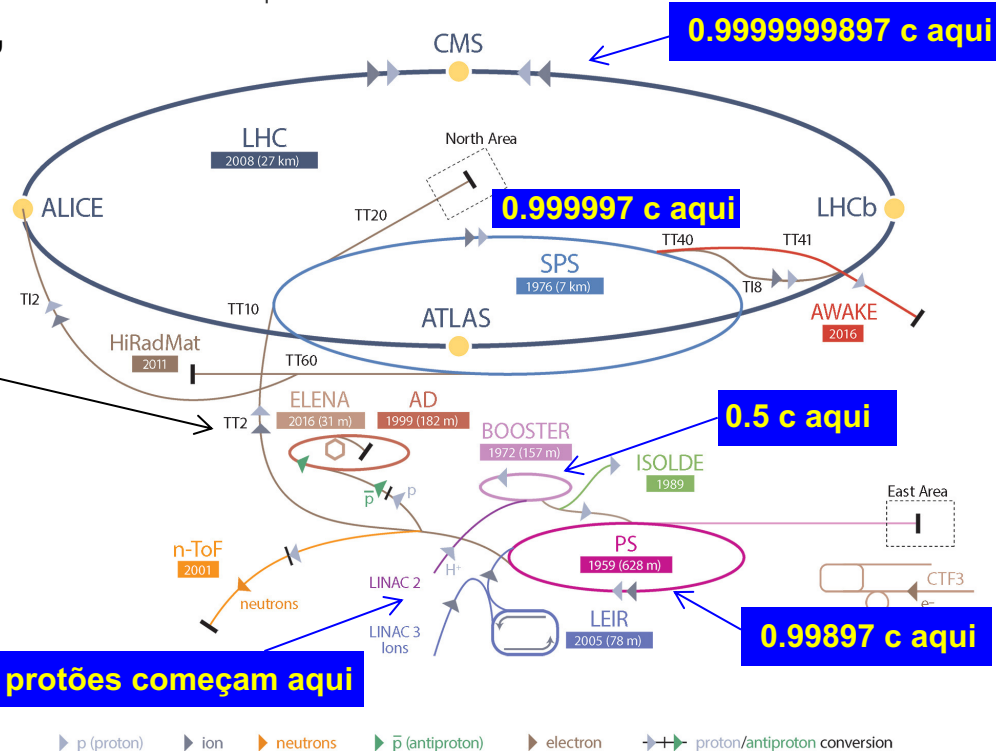
FICÇÃO



Mas **NÃO** em quantidades **no LHC!**

No CERN, é nas Experiências ALPHA, ATRAP, ASACUSA, BASE, AeGIS, GBAR, que se estuda o ANTI-Hidrogénio, usando o desacelerador de Antiprotões (AD / Antiproton Decelerator)

CERN's Accelerator Complex

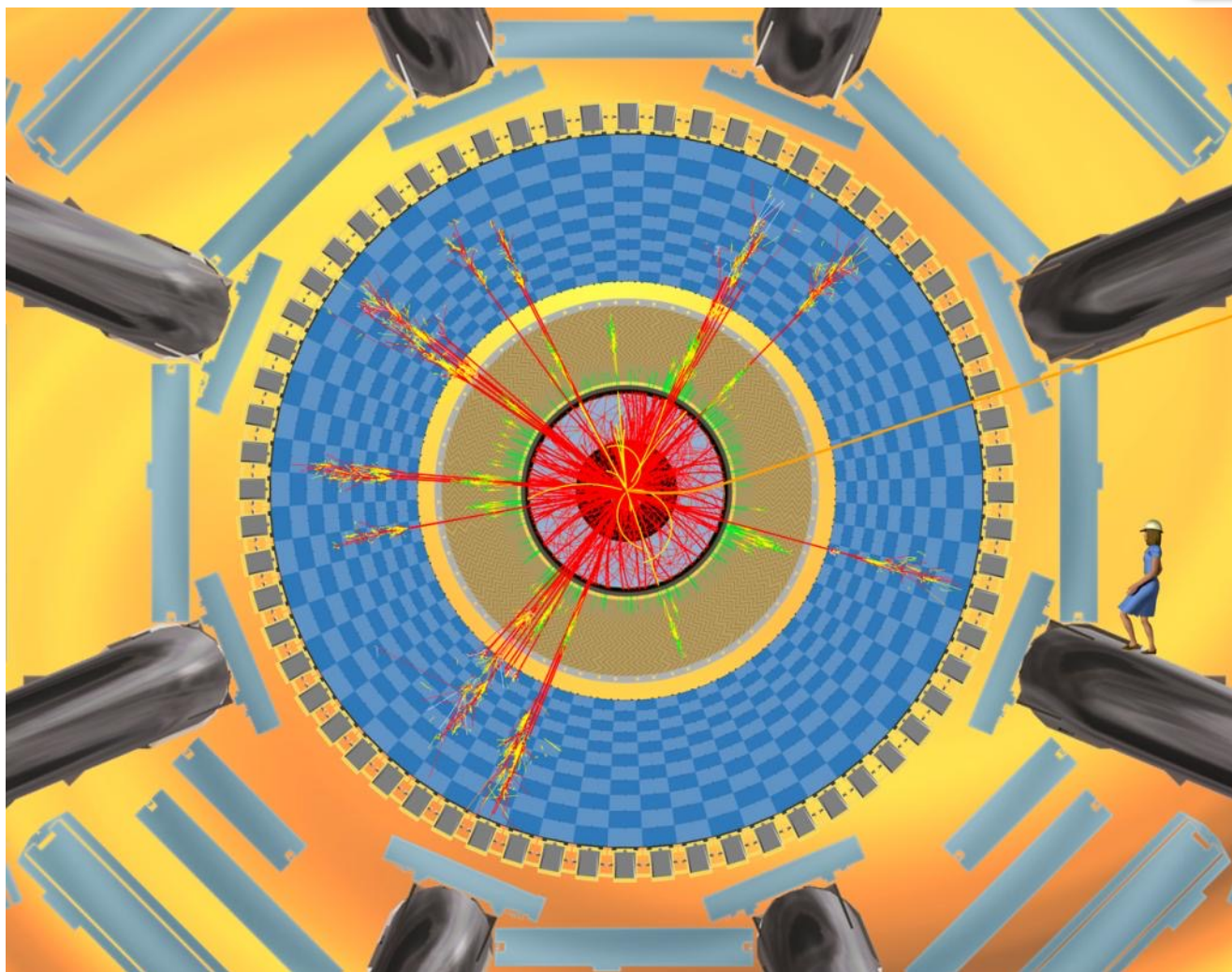


**60 anos de história no CERN ainda operacionais**



**Sim, cria-se  
alguma  
antimatéria  
nas colisões**

(aproximadamente)  
**Metade dos  
traços aqui  
mostrados são  
antipartículas**





TODA a antimatéria  
produzida em ATLAS  
aniquila-se numa fração de  
segundo.



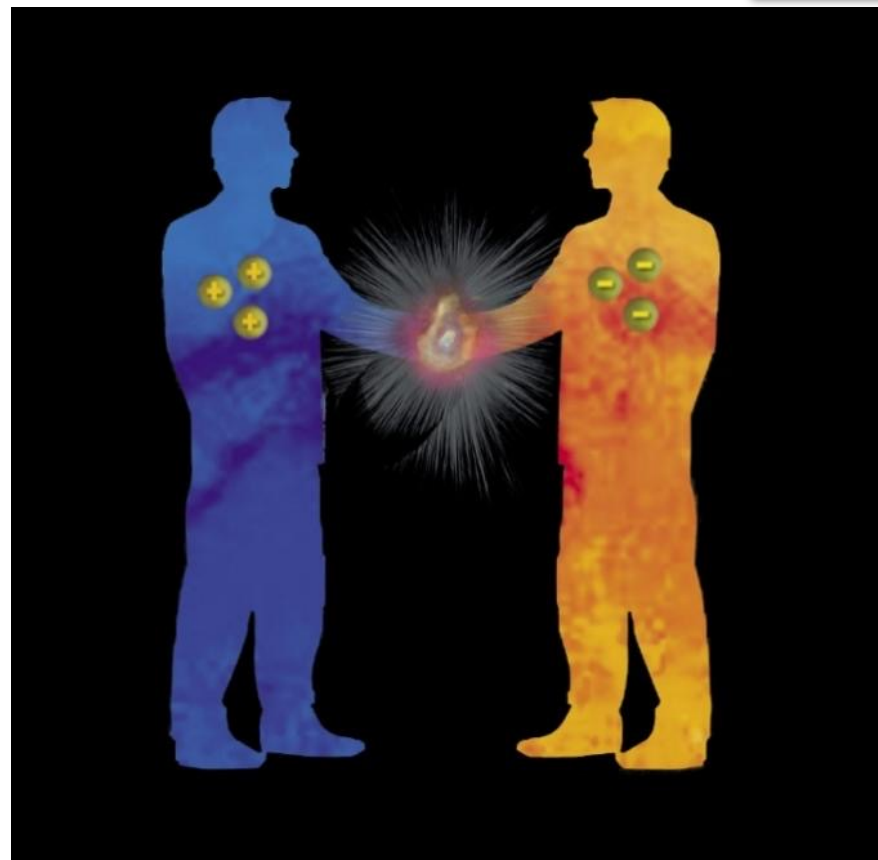
ANGELS & DEMONS



Também é verdade que quando a matéria e a antimatéria se encontram, libertam muita energia.

A massa total é convertida em energia através da Equação de Einstein:

$$E = mc^2 \Leftrightarrow (m+m)c^2 \Rightarrow E$$

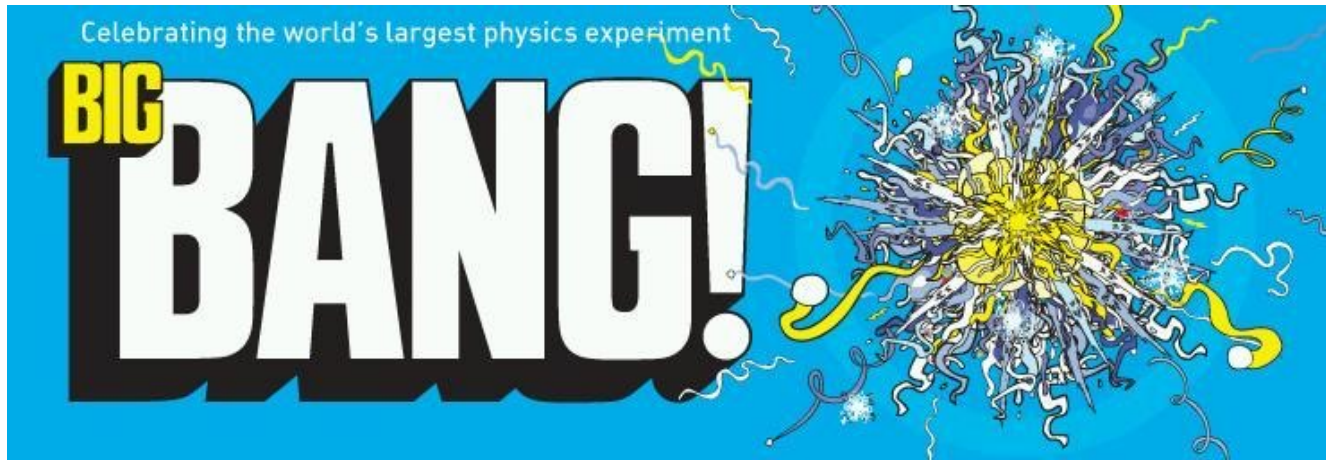


$$(0,0005 \text{ kg} + 0,0005 \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 9 \times 10^{-3+16} \approx 9 \times 10^{13} \text{ J} \dots \text{buuum!}$$

( $\approx$  21 kton TNT; bomba nuclear Hiroshima = 15 kton TNT)

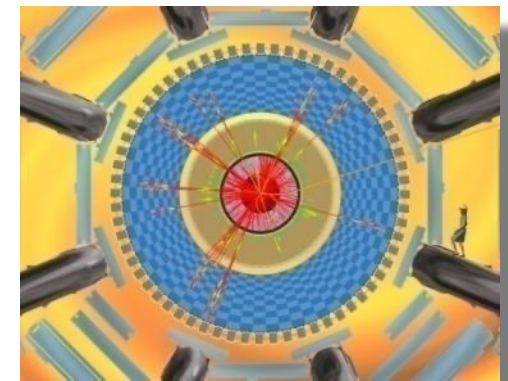


De facto, o



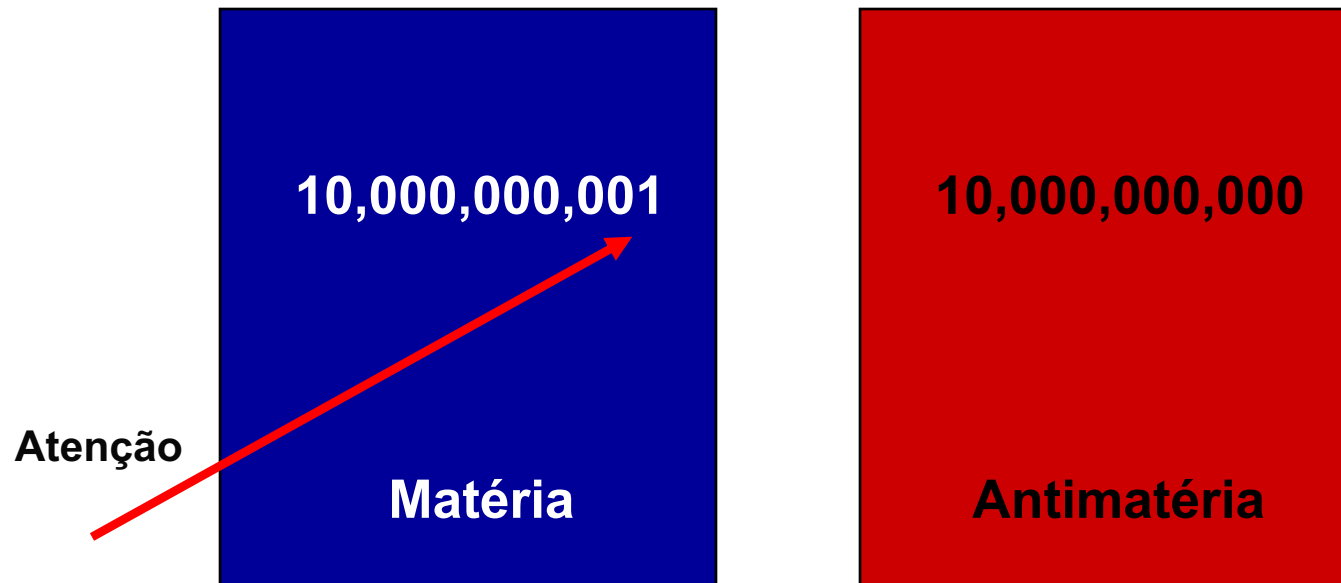
produziu quantidades iguais de matéria e de antimatéria.

Tal qual a Experiência ATLAS!





Muito pouco tempo depois do Big Bang, as quantidades de matéria e de antimatéria... não eram exatamente iguais



*Para cada 10 MIL MILHÕES de partículas que se aniquilaram, sobrou UMA “inteira”*

# Nós existimos porque...



**TODA a antimatéria, e TODA a matéria exceto um bocadinho desapareceram... e este bocadinho somos nós!**



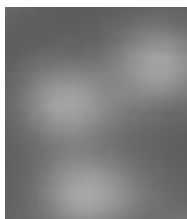
# O Que é então a Antimatéria?



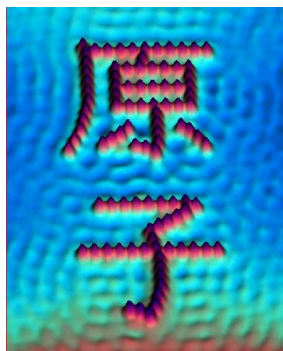
“EXATAMENTE” a mesma coisa que a Matéria:

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

Constituídas por elementos (átomos) como



**Hidrogénio,  
Cálcio,  
Ferro,  
Carbono,  
Azoto,  
Oxigénio,  
Cloro,  
[Hélio],  
e outros 100  
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	<b>Ga</b> = 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		

**...DISTRIBUIÇÃO ELETRÓNICA!**



## O Átomo é feito de Espaço!

**VAZIO**

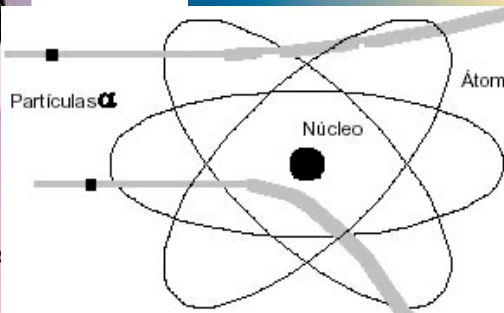
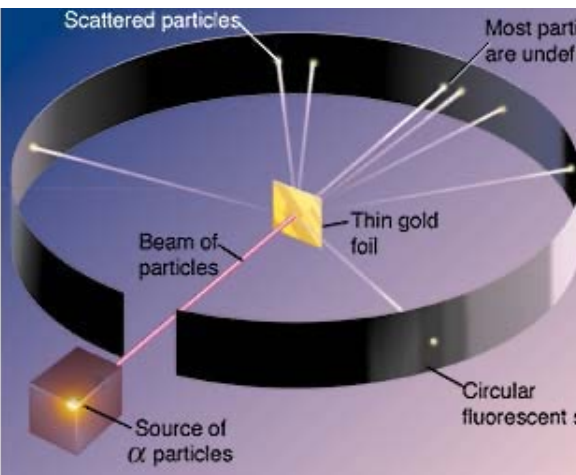
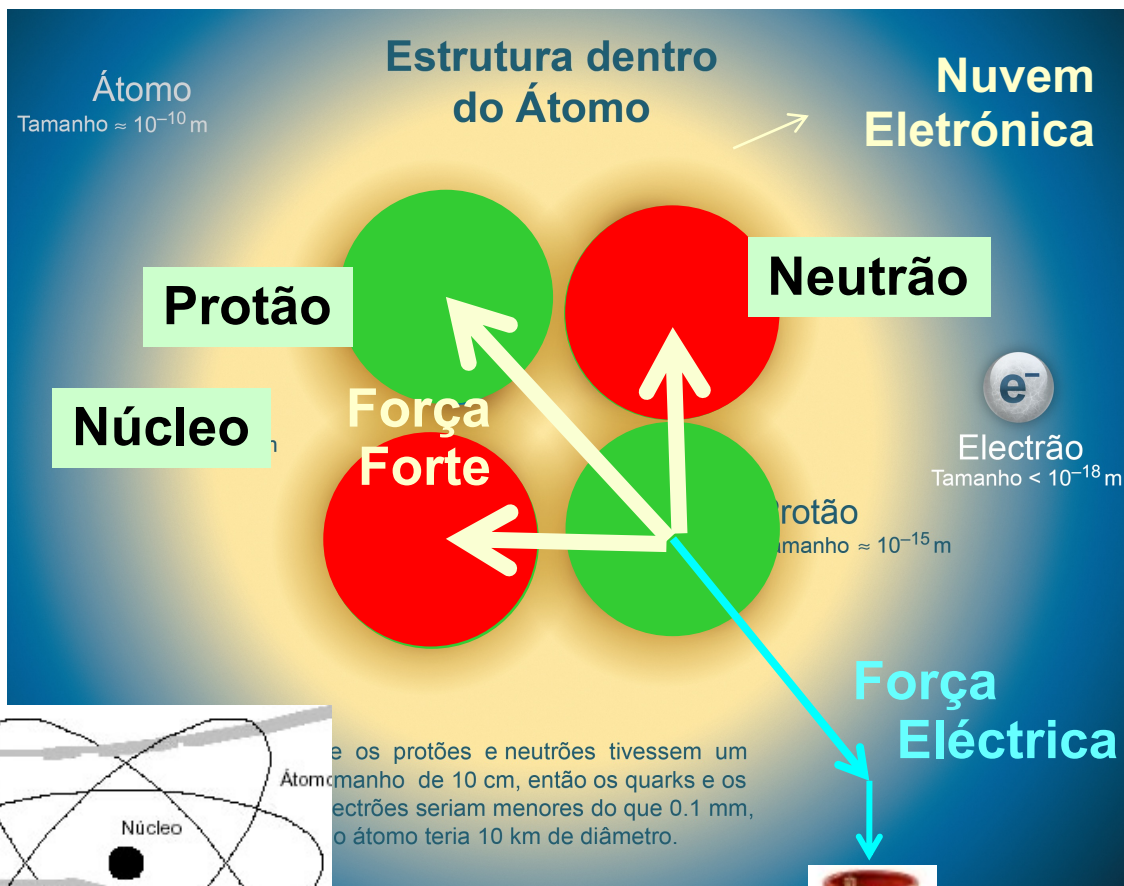
(99,999 999 999 9% do volume)

(núcleo x100)



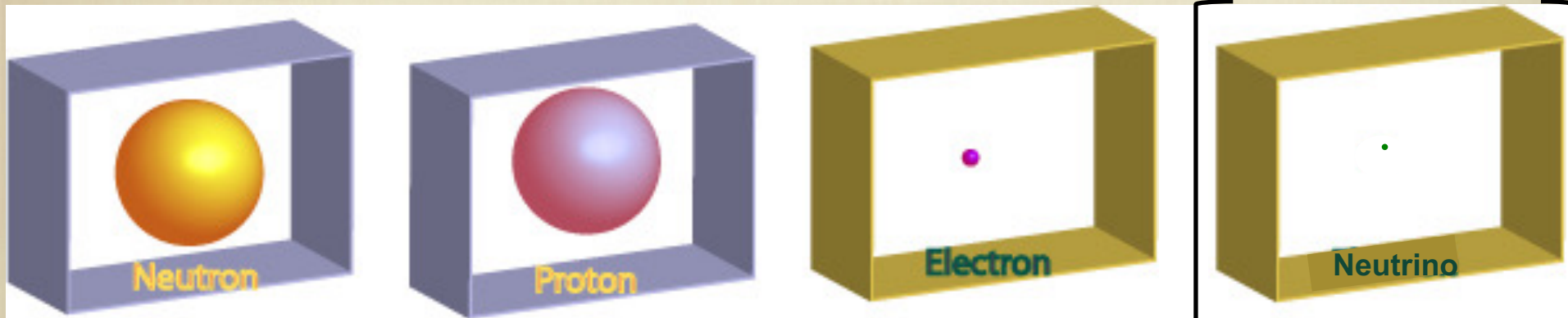


## Núcleo rodeado por uma nuvem eletrónica!



# PARTÍCULAS

## Espectro de Partículas Elementares (1932)



neutrão

protão

eletrão

[neutrino]

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

**Jardim Zoológico**

(\*)partículas com interação forte

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

HADRÕES

$\pi^+$   $\pi^-$   $\pi^0$   
 Piões  
 $K^+$   $K^-$   $K^0$   
 Kaões  
 $\eta'$   
 Eta-Prime  
 $\eta$   
 Eta  
 $\varphi$   
 Phi  
 $\rho^+$   $\rho^-$   $\rho^0$   
 Rho

(todas instáveis)

**MESÕES +140**

$\Delta^{++}$ ,  $\Delta^+$ ,  $\Delta^0$ ,  $\Delta^-$   
 Delta  
 $\Sigma^+$ ,  $\Sigma^0$ ,  $\Sigma^-$   
 Sigma (estranho!)  
 $\Xi^0$ ,  $\Xi^-$   
 Xi (muito estranho!)

$p$ ,  $n$   
 próton, neutrão  
 $\Lambda^0$   
 Lambda (estranho!)

(decaem até ao próton)

**+120 BARIÕES**

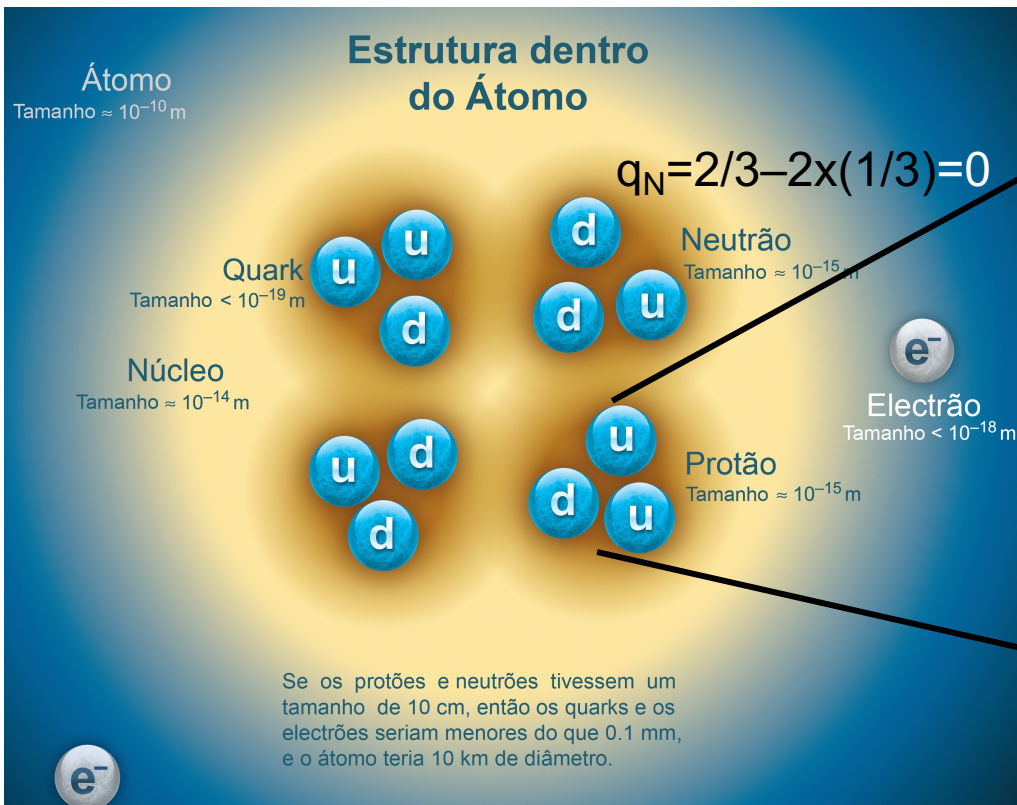
Qual é a estrutura de base, a 'nova tabela periódica' ?  
 Porque é que o próton é absolutamente estável?

# E os Protões?

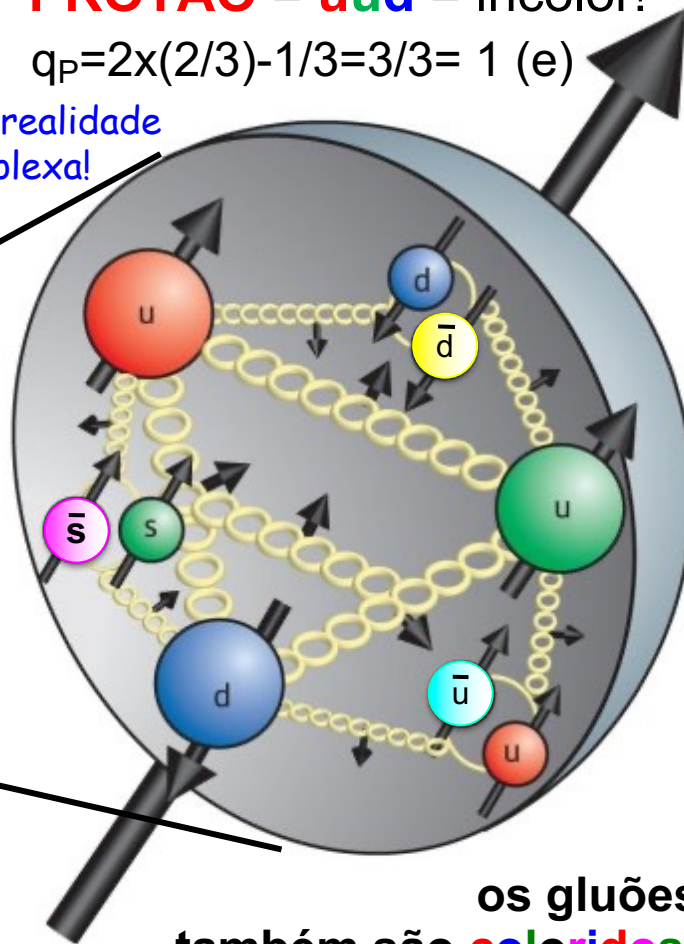
Nome Quark	Carga Eléctrica	Spin [h/(2π)]	
u (up)	+2/3 (e)	+1/2	● ● ●
d (down)	-1/3 (e)	+1/2	● ● ●

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

**PROTÃO** = **uud** = incolor!  
 $q_p = 2 \times (2/3) - 1/3 = 3/3 = 1 (e)$



mas realidade complexa!



Contudo,  $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg} \gg \sum m_q$

# 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 interacções fundamentais (as interacções manifestam-se através das forças e dos decaimentos das partículas instáveis).

## FERMIÕES

constituíntes 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 (eV), 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

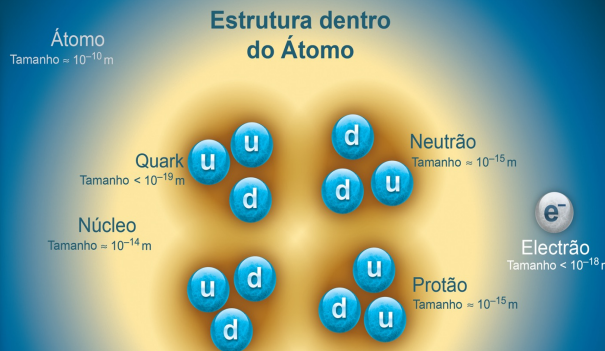
Para cada tipo de partícula existe o correspondente tipo de antipartícula, indicado com uma barra sobre o símbolo da partícula (excepto se se mostrar a carga + ou -). A partícula e a antipartícula têm a mesma massa e spin mas cargas eléctricas opostas. Alguns bósons electricamente neutros (por ex.,  $Z^0$ ,  $\gamma$ , 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.

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.

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 electrões seriam muito pequenos.

## BOSÕES

mediadores das forças  
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
<b>W<sup>-</sup></b> bósons W	80.39	-1	<b>Bosão de Higgs</b> spin = 0		
<b>W<sup>+</sup></b> bósons W	80.39	+1	Nome	Massa GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica
<b>Z</b> 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 glúons 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 quarks e os glúons são carregados e interagem trocando cor interagendo trocando glúons.

<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)	<b>W<sup>+</sup> W<sup>-</sup> Z<sup>0</sup></b>	$\gamma$	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 glúons estão confinados em partículas compostas chamadas hádrons. Este confinamento (ligação) resulta das interacções fortes entre os quarks e os glúons, que são as partículas observáveis. Quando as partículas "coloridas" (quarks e glúons) 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 hádrons, que são as partículas observáveis.

Dois tipos de hádrons foram observados na natureza: mesões qq e bárions qq. 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  $\pi^+$  (u $\bar{d}$ ), kaão  $K^+$  (u $\bar{s}$ ), e  $B^0$  (db).

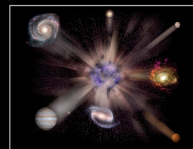
Saiba mais em [ParticleAdventure.org](http://ParticleAdventure.org)



## 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).



# Constituintes fundamentais da Matéria (e da Antimatéria!)



$$1 \text{ GeV}/c^2 = 1.78 \times 10^{-27} \text{ kg} \approx m(\text{protão}) = 0,938 \text{ GeV}/c^2$$

## FERMIÕES

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

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

### Leptões spin = 1/2

### Quarks spin = 1/2 3 'cores'

	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	1964
1897	<b>e</b> electrão	0.000511	-1	<b>d</b> down	0.005	-1/3	1964
1962	$\nu_M$ neutrino* intermédio	$(0.009-2) \times 10^{-9}$	0	<b>c</b> charm	1.3	2/3	1974
1937	$\mu$ muão	0.106	-1	<b>s</b> strange	0.1	-1/3	1964
2001	$\nu_H$ neutrino* pesado	$(0.05-2) \times 10^{-9}$	0	<b>t</b> top	173	2/3	1996
1975	$\tau$ tau	1.777	-1	<b>b</b> bottom	4.2	-1/3	1977



## 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)	$W^+$ $W^-$ $Z^0$	$\gamma$ <b>fotão</b>	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  
(Radioatividade)**

↘  
**Electromagnética  
(Corrente eléctrica, luz,  
ímans)**

↘  
**Força Forte  
(Coesão dos  
Núcleos  
Atómicos)**

+ **Bosão de Higgs**

...e ainda outras interações (Relações Humanas, etc.)

# Também há partículas para as interações => **BOSÕES!**



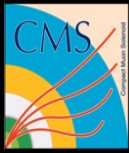
## BOSÕES

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

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

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

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



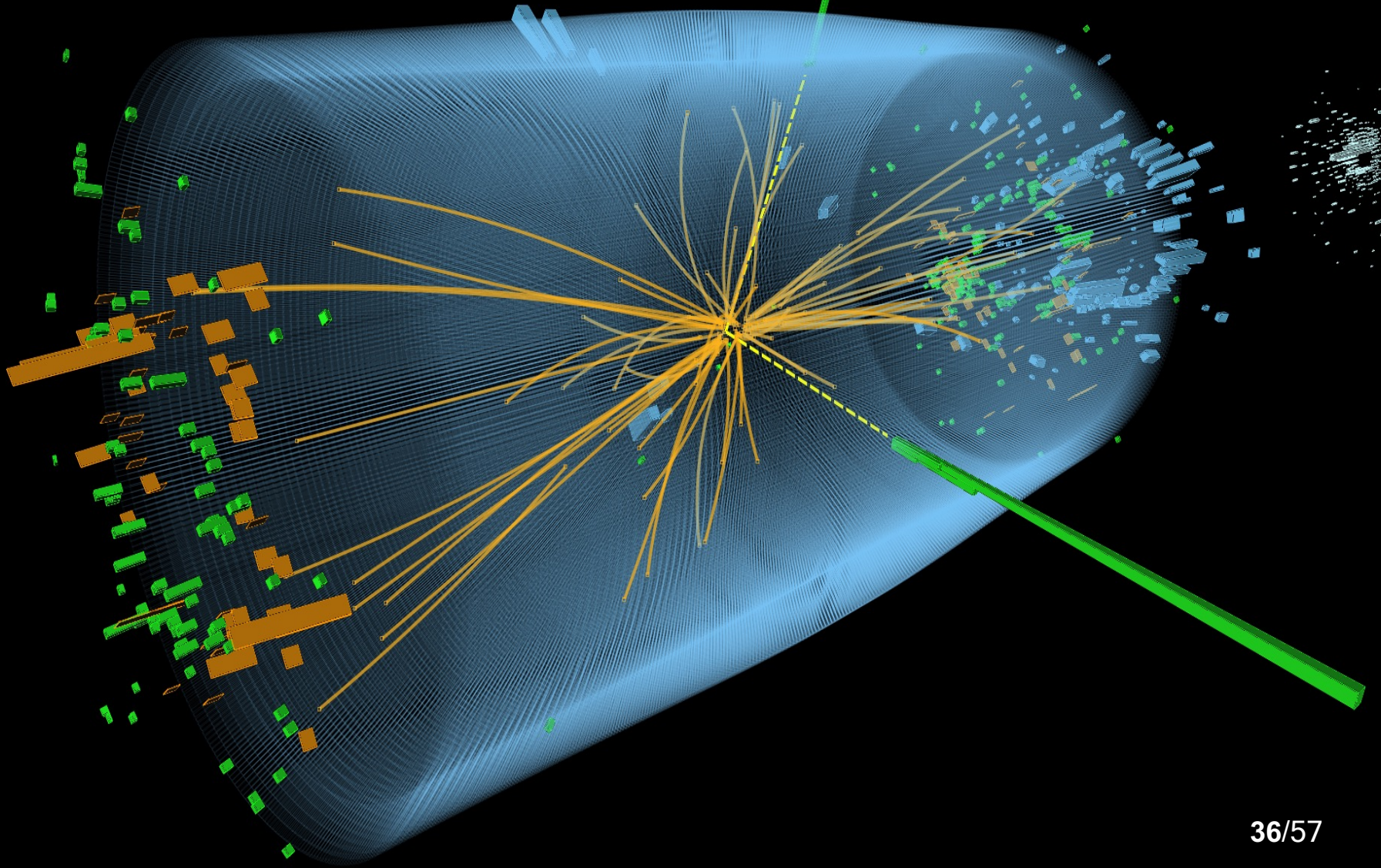
CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT

Run/Event: 194108 / 564224000

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

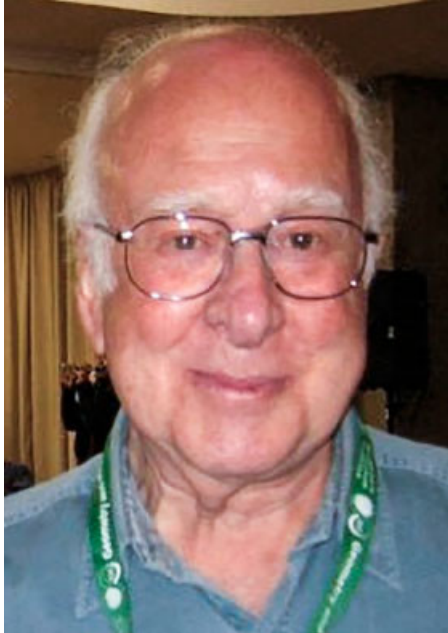
(possível decaimento do bóson H em 2 fótons)



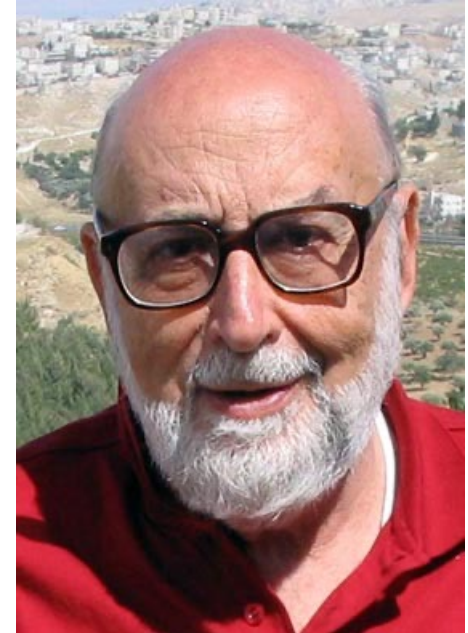
# A Descoberta do bóson de Higgs... ...premiada com o Prémio Nobel 2013:



**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!

Bloomberg  
**BusinessWeek**

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](#)

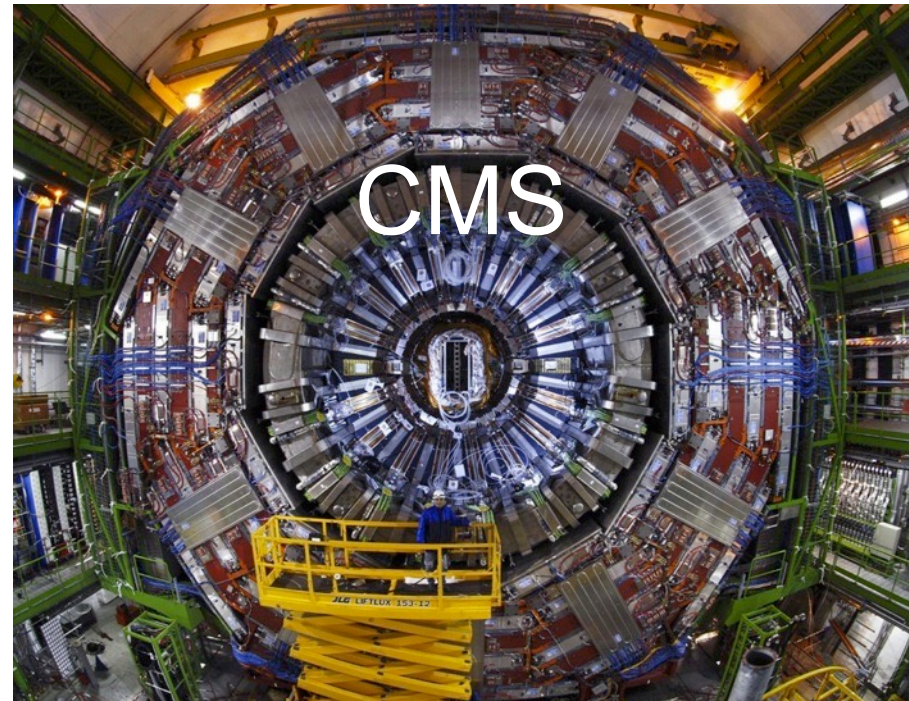
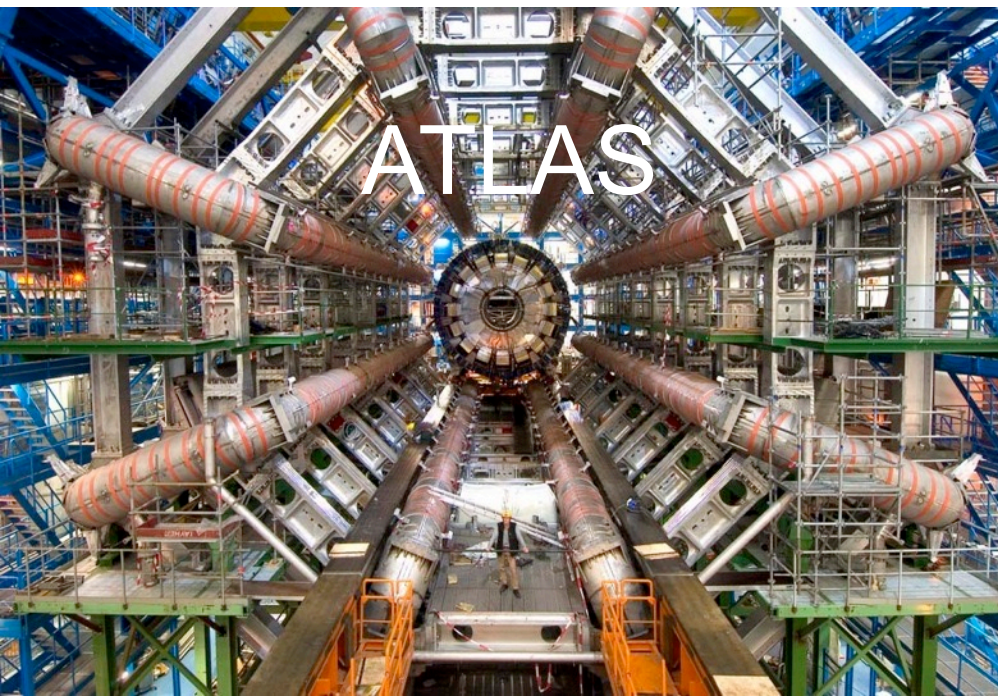
As a business [leader](#), imagine trying to [manage](#) more than 7,000 scientists from 85 countries around the world—with their own languages, cultures, and expertise—on a 20-year collaboration to create the most complex system ever built.



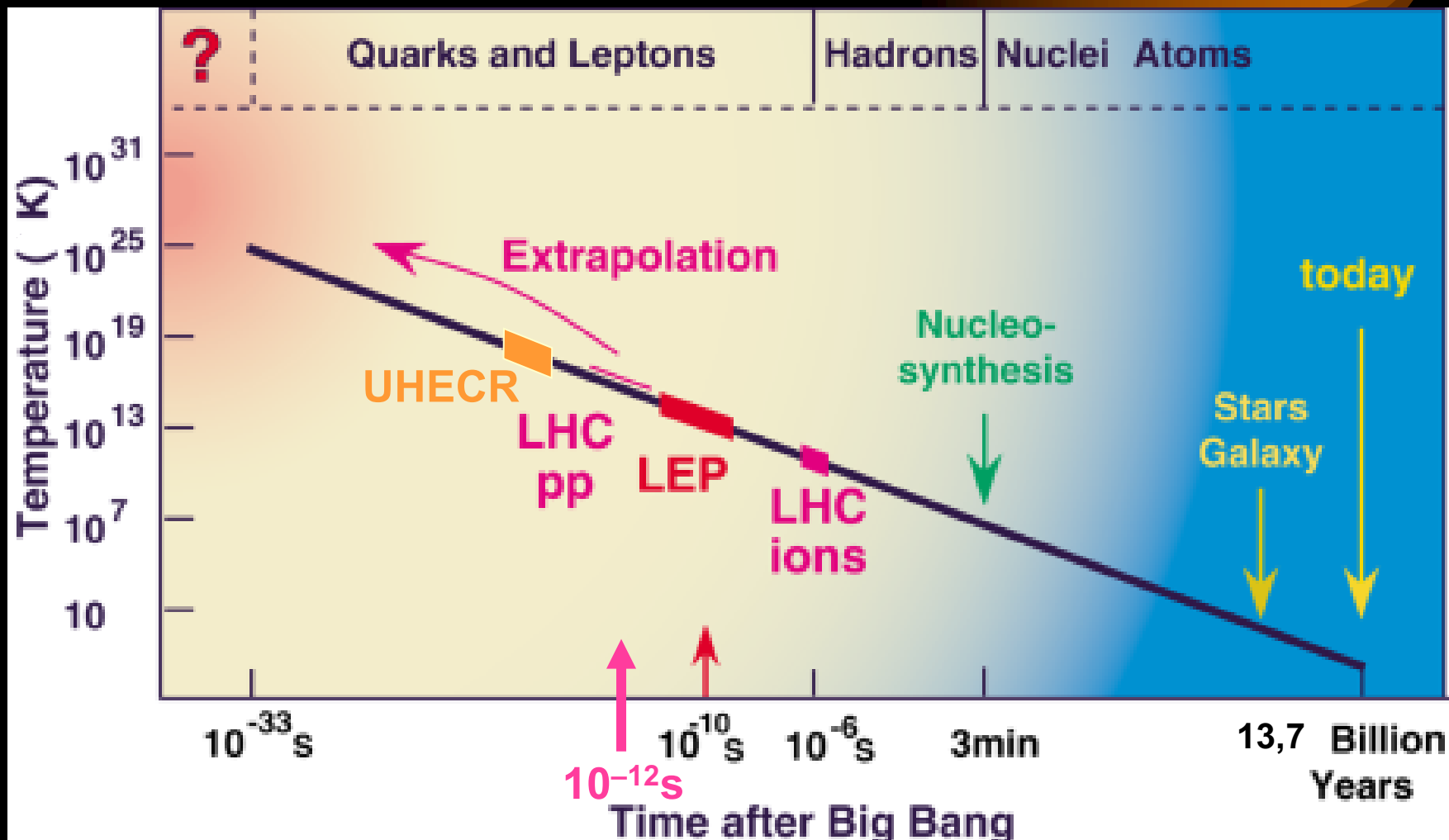
# Acelerador LHC



Detectores LHC envolvidos na descoberta do B.Higgs

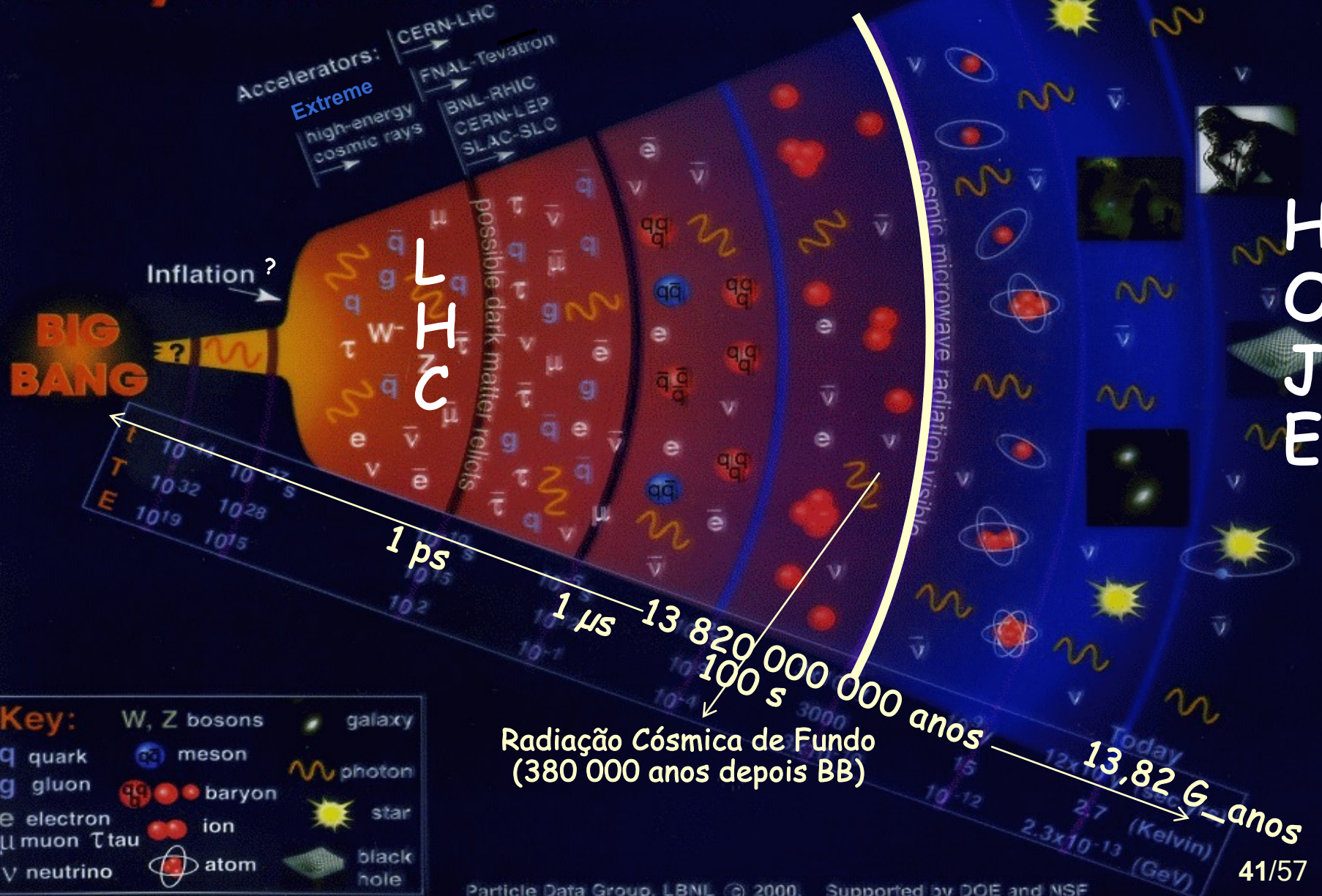


# Para o início do Universo...





# History of the Universe



**Key:**

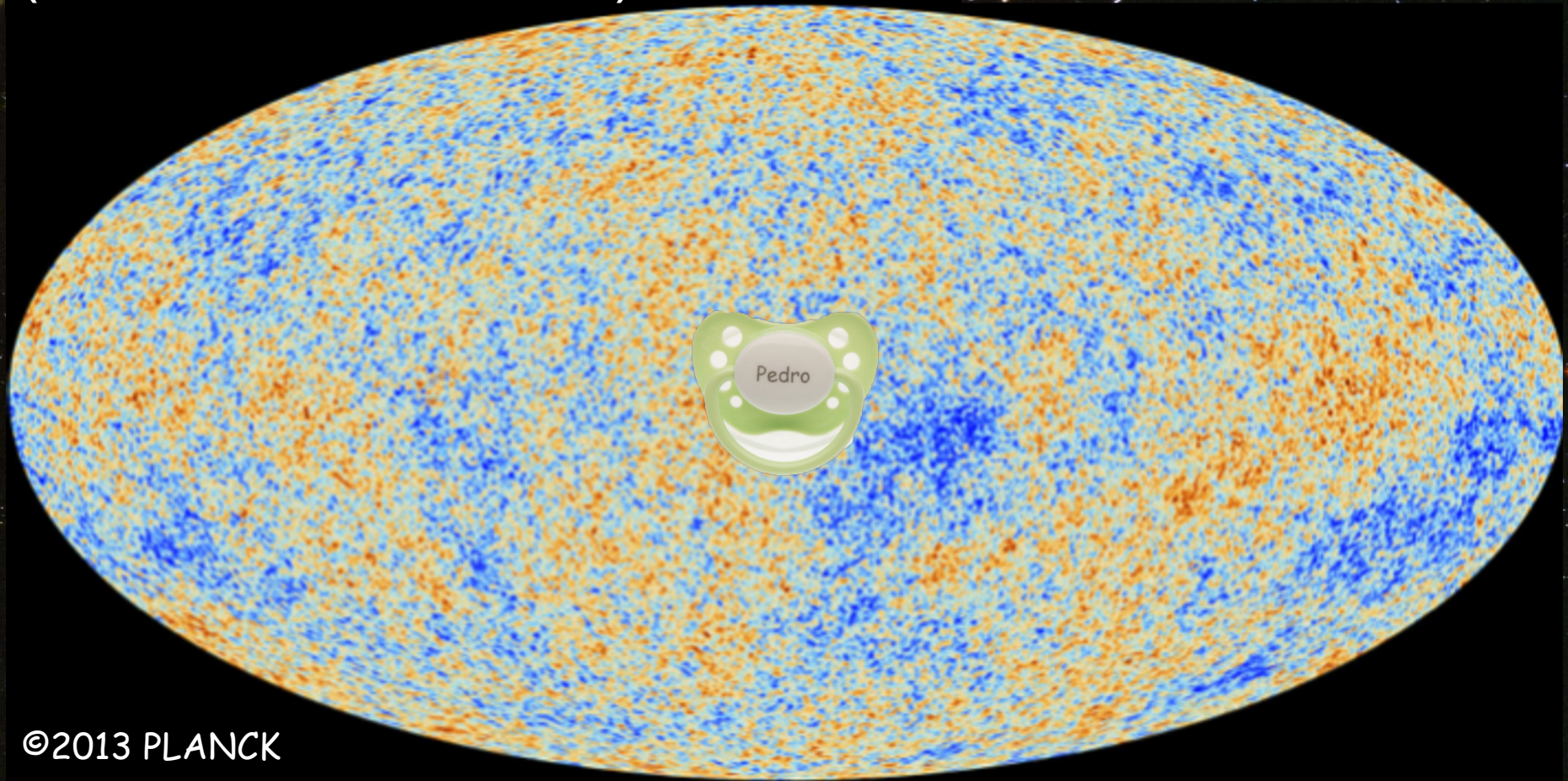
W, Z bosons	galaxy
q quark	meson
g gluon	baryon
e electron	ion
μ muon τ tau	atom
ν neutrino	black hole
	photon
	star

Radiação Cósica de Fundo  
(380 000 anos depois BB)

# A Radiação C3smica de Fundo do Universo

(hoje =  $13,82 \times 10^9$  anos ap3s Big Bang)

Uma fotografia do Universo beb3  
(idade de 380 000 anos)



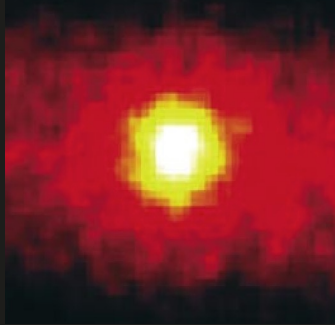
32013 PLANCK

31 de agosto  
2023

LIP, Lisboa...

42/57

(Sol em ) neutrinos



Raios C3smicos de Energia Extrema



# O UNIVERSO INVISÍVEL

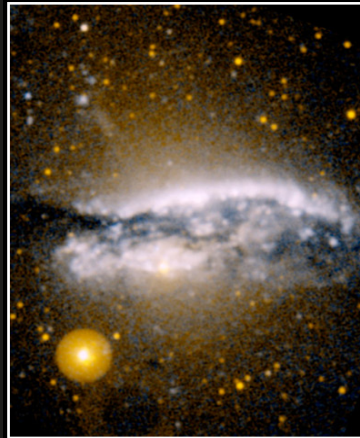
3tico



InfraVerm.



UltraVioleta



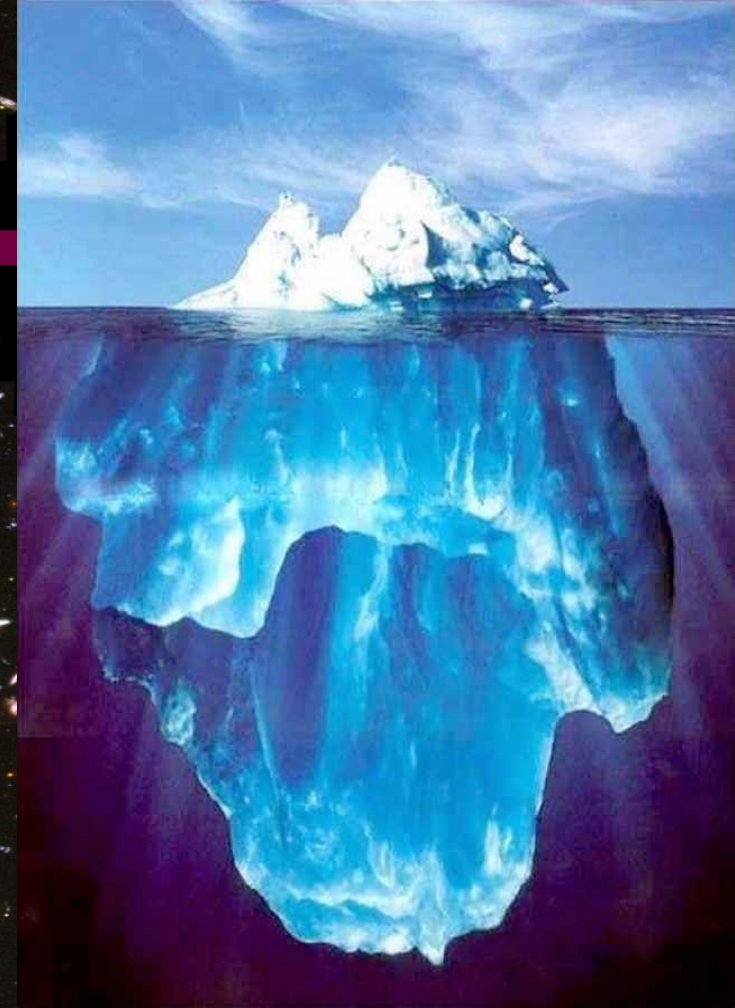
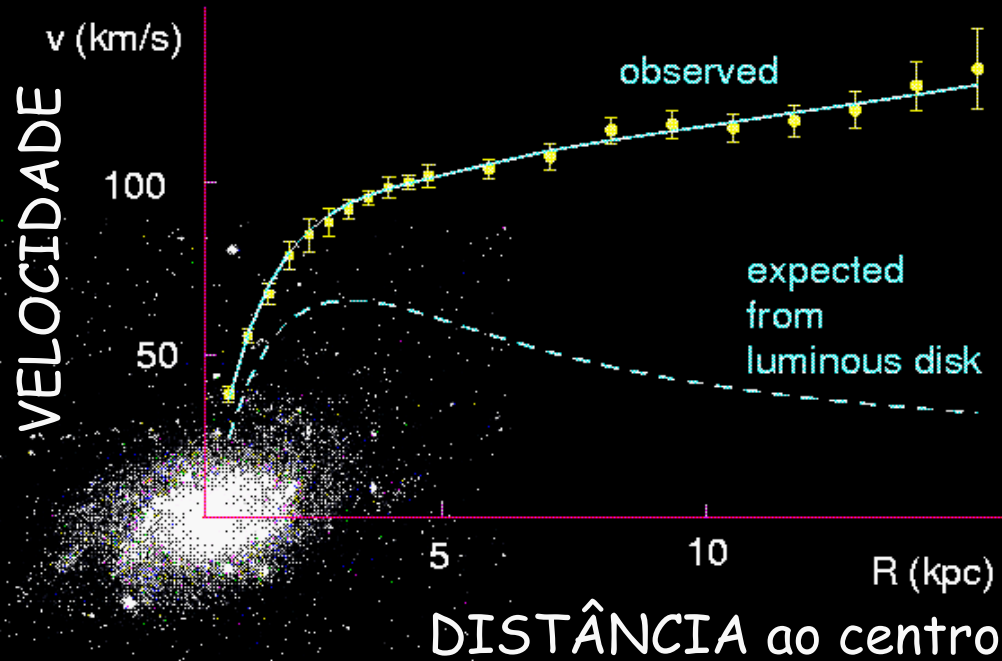
Raios-X



Ondas R3dio



# O Problema da Matéria Escura



© A. De Angelis

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

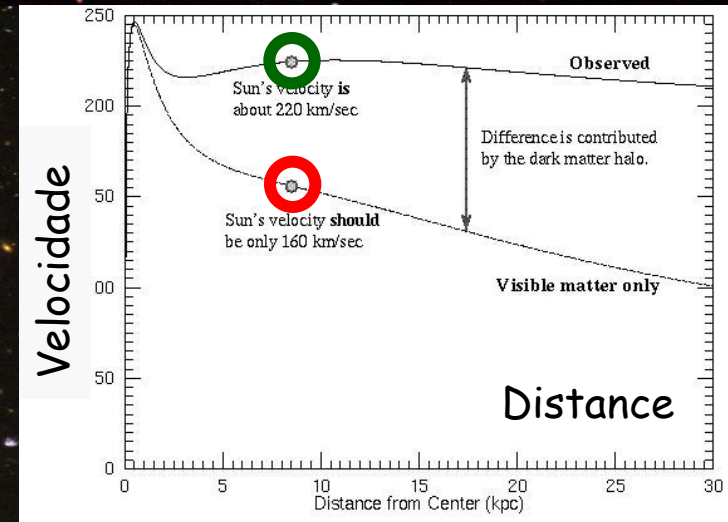
# Matéria Escura presente na nossa própria Galáxia!

M100  $\approx$  Milky Way



© COBE

Milky Way



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

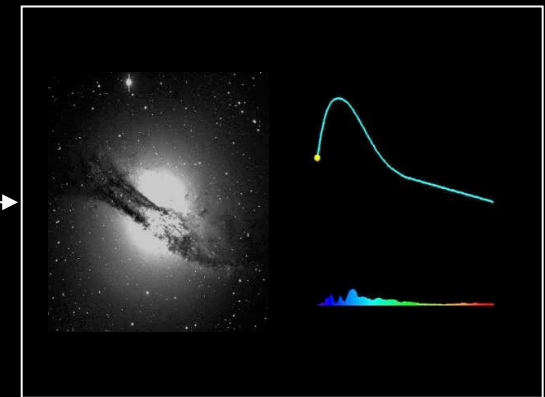
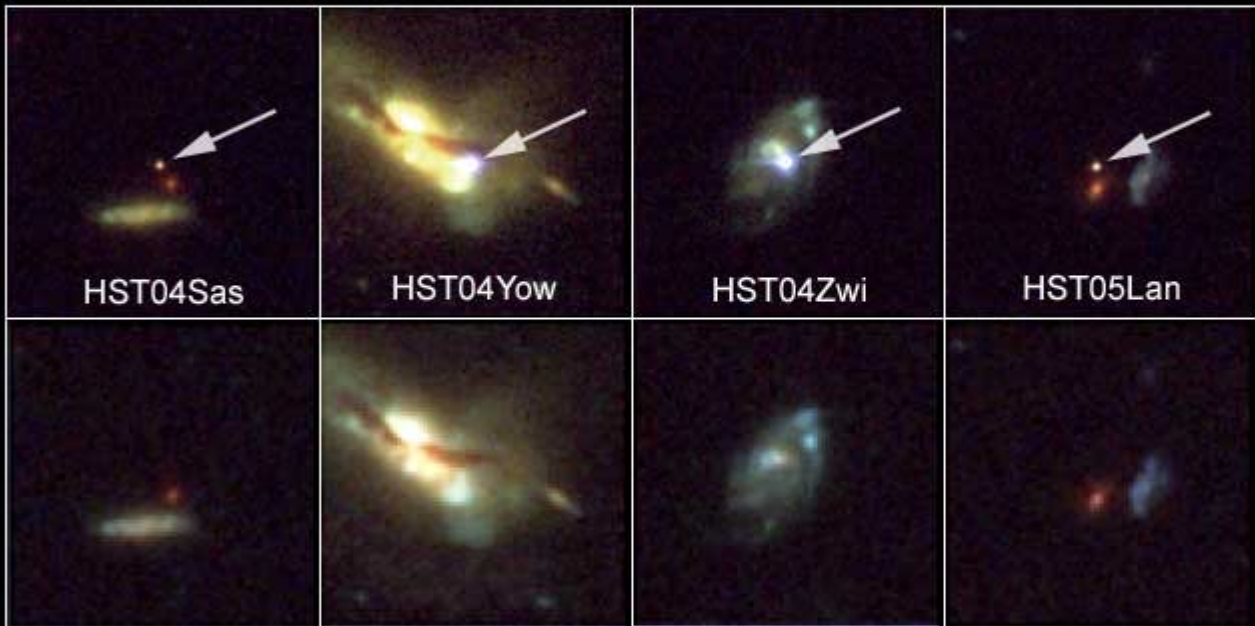
# O Problema da 'Energia Escura'

Cientistas estudam supernovae 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 Type Ia

HST • ACS/WFC

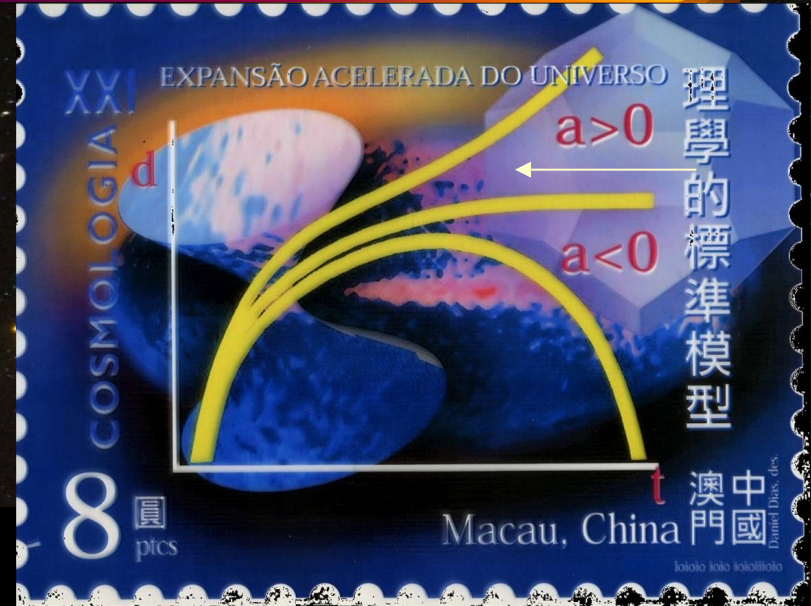


NASA, ESA, and A. Riess (STScI)

STScI-PRC06-52

# Oops...não está a diminuir!

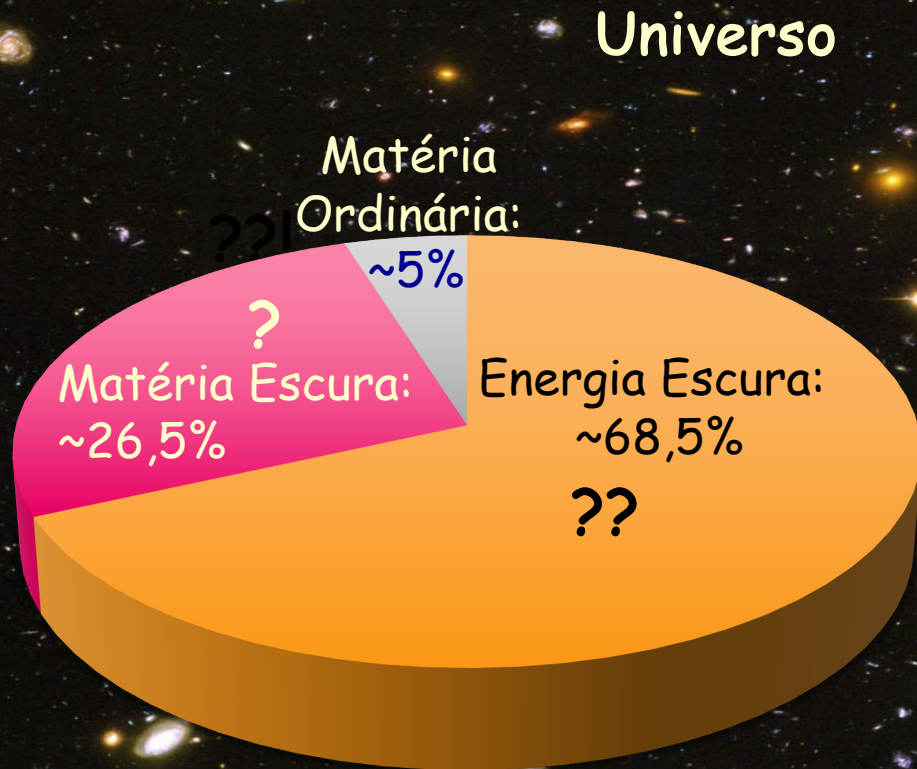
- A Expansão do Universo está acelerando!!!



- Algo se está mesmo a sobrepôr à gravidade

- Cientistas chamam-lhe 'Energia Escura'

# De que é que feito o Universo?!



- Energia Escura
- Matéria Escura
- Matéria Ordinária

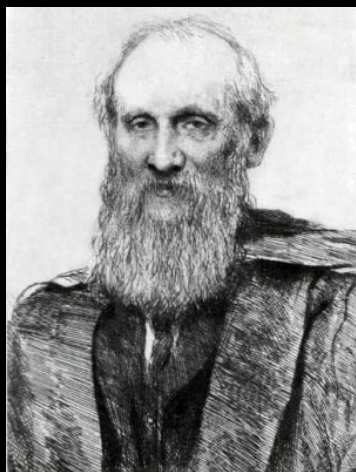
©2013 PLANCK



**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)**



**William Thomson  
(Lord Kelvin)**

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)



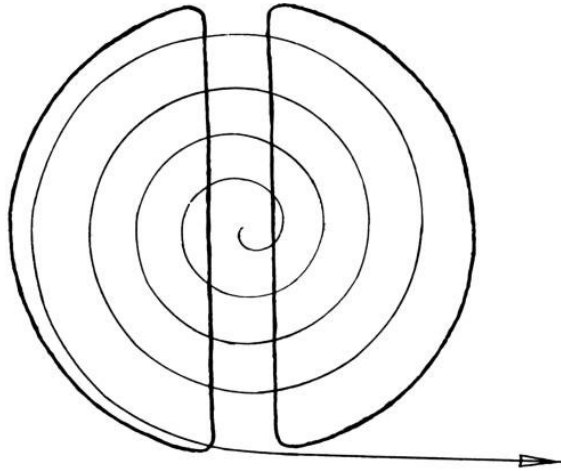
# ...e temos muitas Nuvens!!!

- Onde está a Antimatéria ? (ou a Assimetria M-aM?)
- As 3 forças fundamentais unificar-se-ão? (ou as 4) ?
- As partículas elementares são mesmo elementares ?

Ok, aqui temos alguns porquê's:

- Porquê é que há 3 famílias de partículas elementares ?
- Porque é que as partículas têm as massas que têm ?
- Porque é que os neutrinos são muito mais leves do que as outras partículas elementares ?
- **Porque é que os valores das constantes fundamentais na natureza estão tão adequadas à vida complexa ?**

# As diferentes perspectivas do CERN



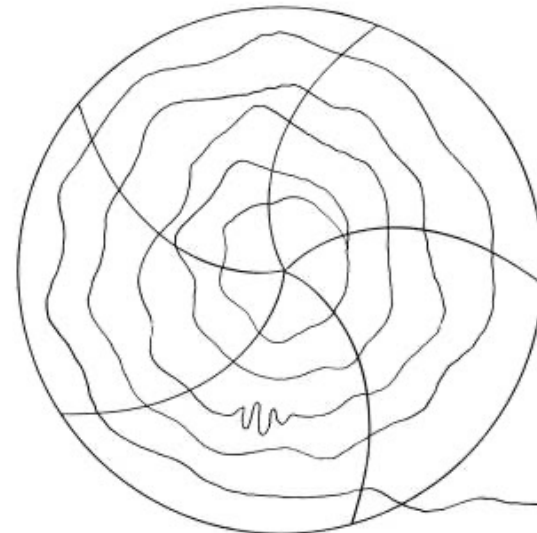
*...o inventor*

XBD9705-02291.TIF



$p: 37.945067 \pm .00023 \text{ MeV}$   
 $0.03 \times 0.05 \text{ cm:}$   
 $\pm 0.000075 \text{ m rad.}$

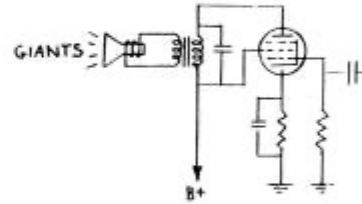
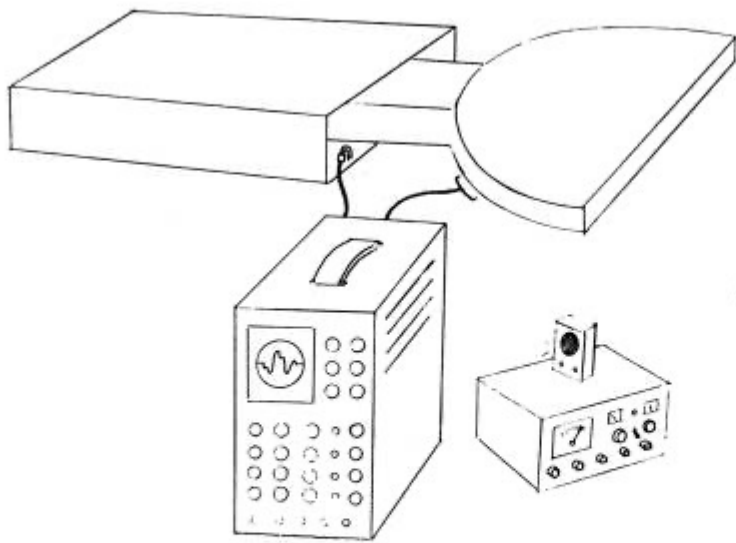
*...o físico experimental*



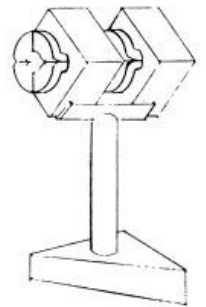
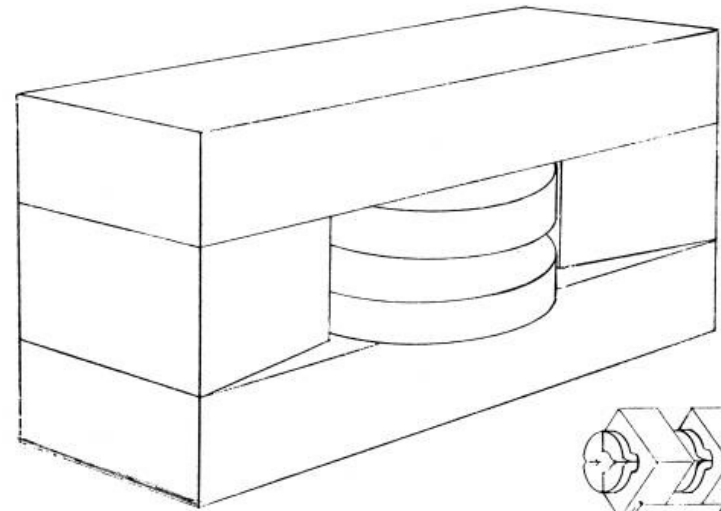
$$r = r_0 \left[ 1 + \left( \frac{fr\omega}{c} \right) \cos(3\theta + \delta_0 + \delta_1 r) + \left( \frac{fr\omega}{c} \right)^2 \cos(5\theta + \delta_3 - \delta_5 r^2) + \left( \frac{fr\omega}{c} \right)^3 \cos(7\theta + \delta_7 - \delta_9 r^2) + \dots \right] \times \left\{ \frac{e^{\frac{3}{2} r^2 \ln Z}}{1 + \left( \frac{r}{Z} \right)^{\frac{3}{4}}} \right\}$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \left[ \sin(\omega t - k\phi) - \sin k\phi - \frac{3}{5} f f f f f' \right] \frac{eV_0}{2\pi\omega}$$

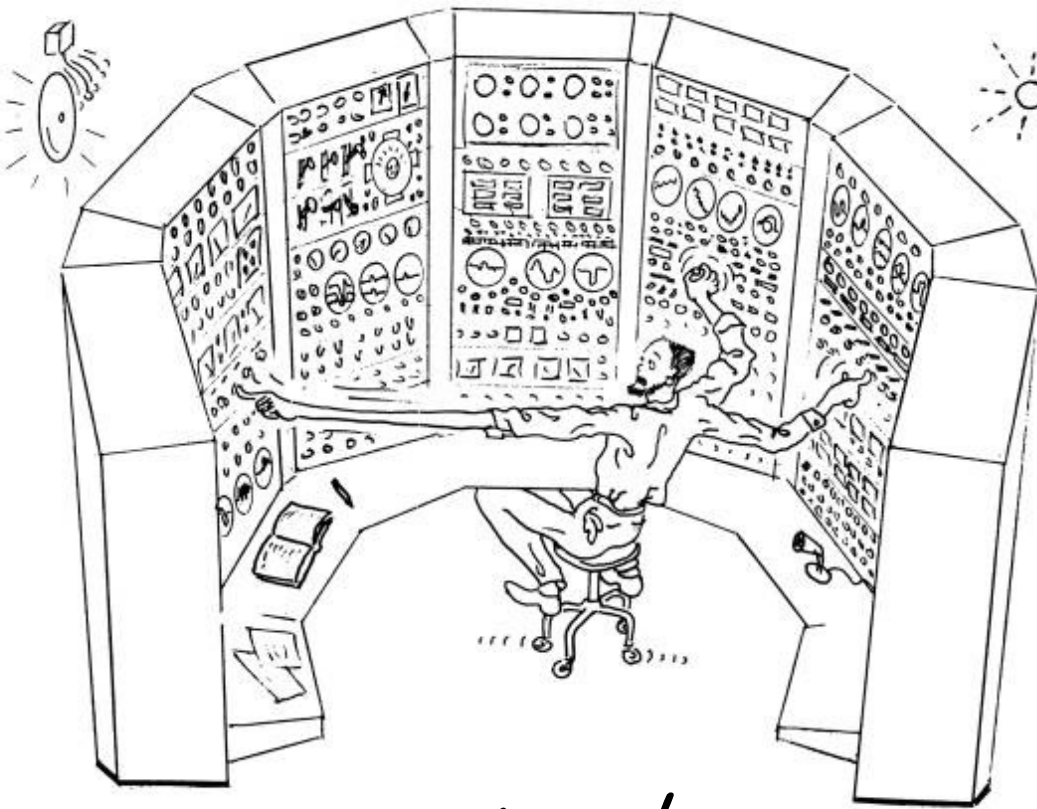
*...o físico teórico*



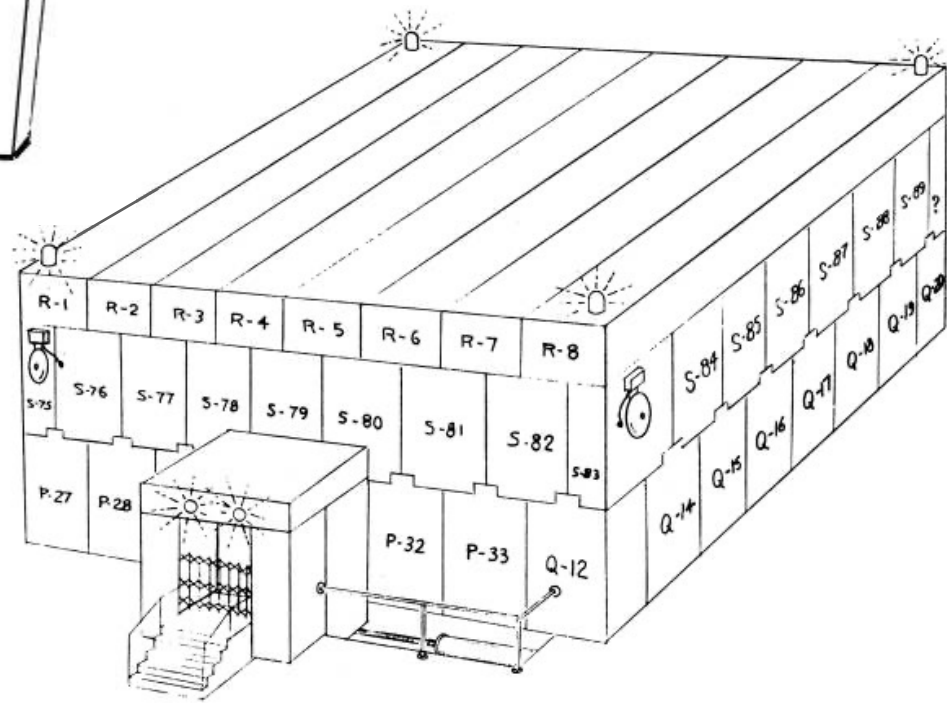
*...o engenheiro electrotécnico*



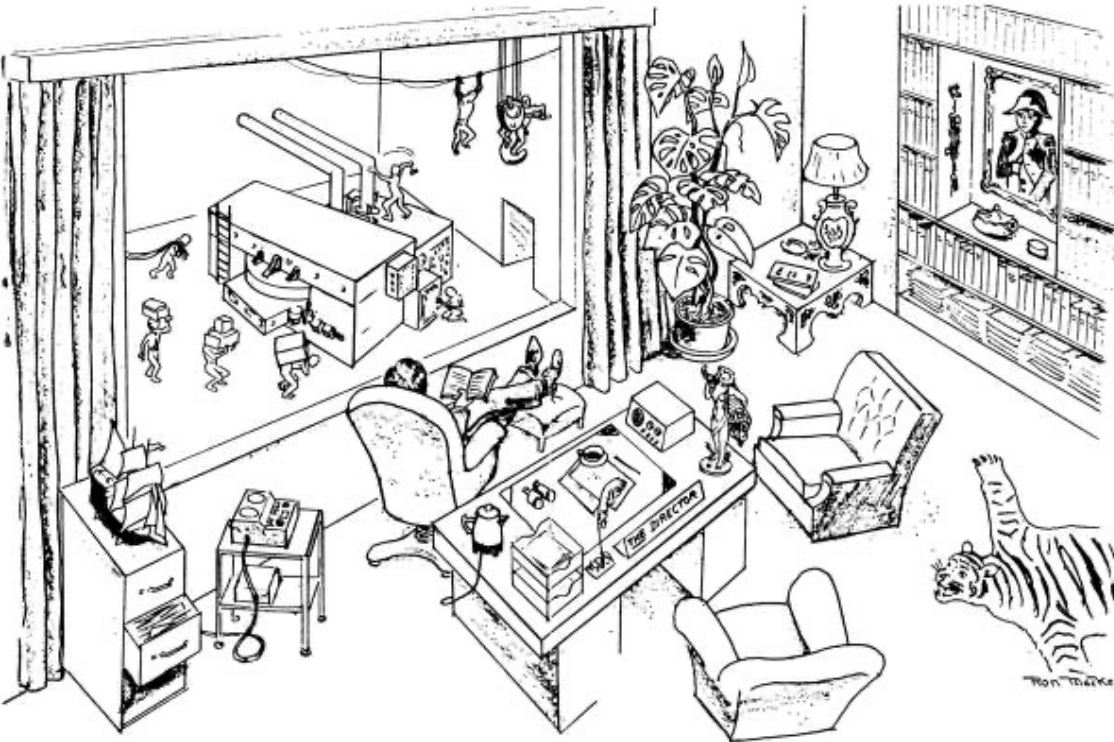
*...o engenheiro mecânico*



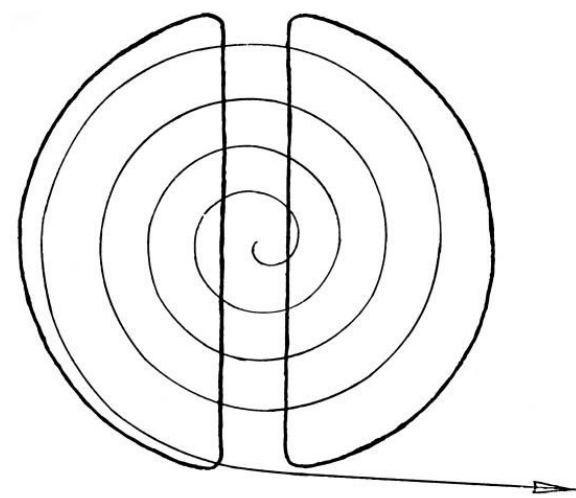
*...o operador*



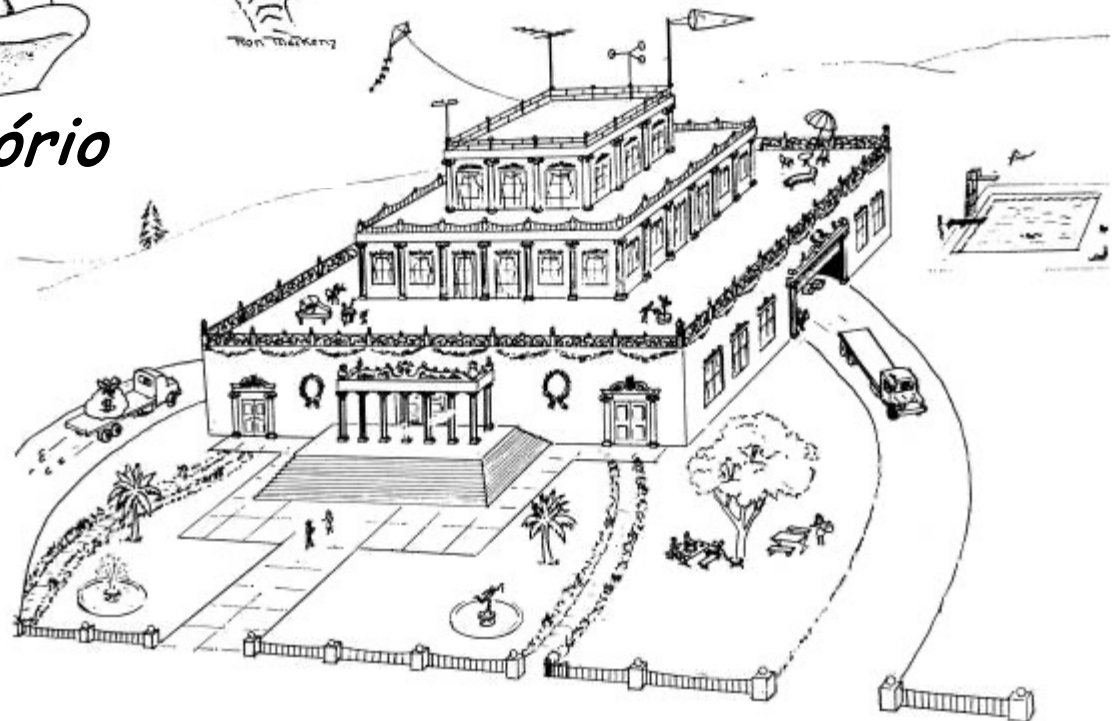
*...o médico*



*...o director do laboratório*



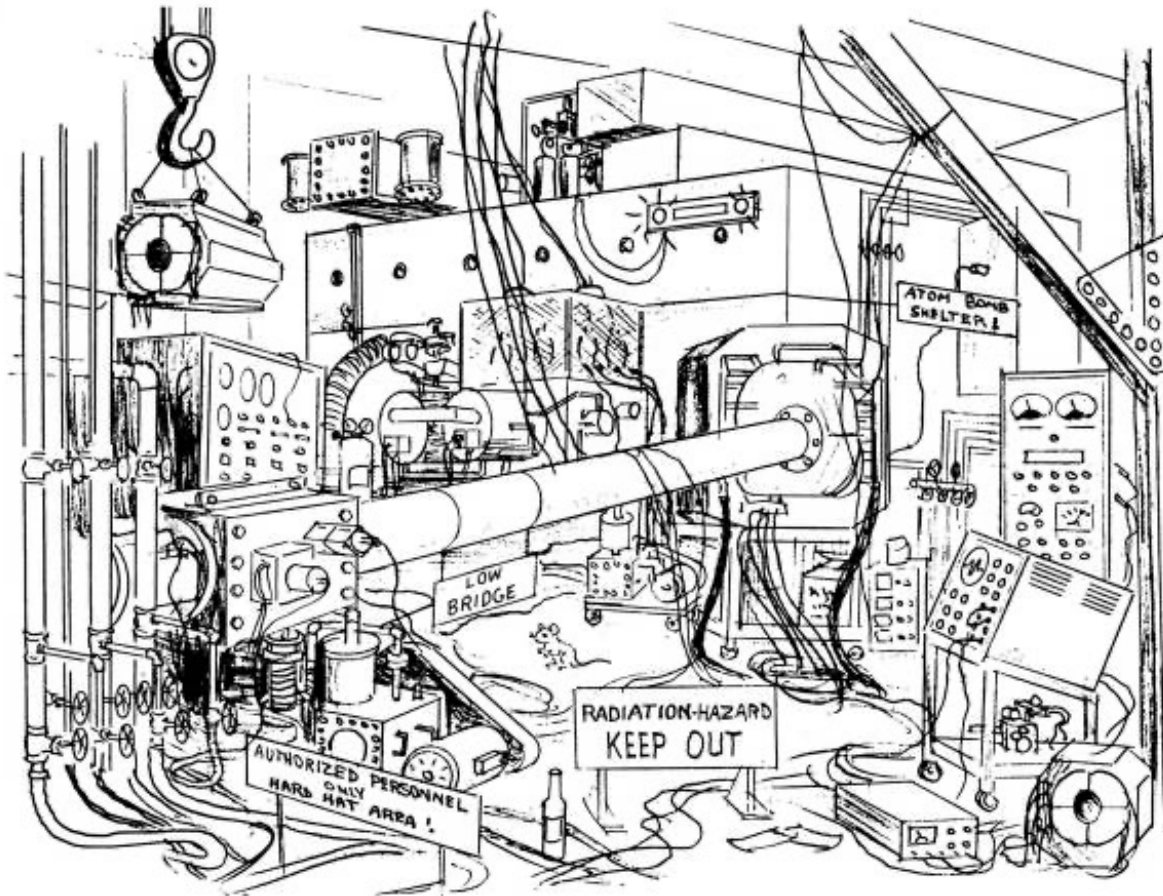
*...o estudante*



*...a agência de financiamento*

# As diferentes perspectivas do CERN

A VOSSA!



*...o visitante*



# 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!"*