



CIÊNCIA VIVA



# Anjos, Demónios, Matéria e Antimatéria!

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

**Pedro Abreu**  
LIP e IST

**30 de agosto de 2024**

*Visita ao LIP de  
Professores  
Brasileiros/Africanos  
a caminho do CERN*

**Adaptado de uma palestra  
preparada pela Colaboração**



M & © 2009 Columbia Pictures Industries, Inc. All Rights Reserved.

**Pedro Abreu – LIP, Lisboa, 30 de agosto de 2024**

**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:

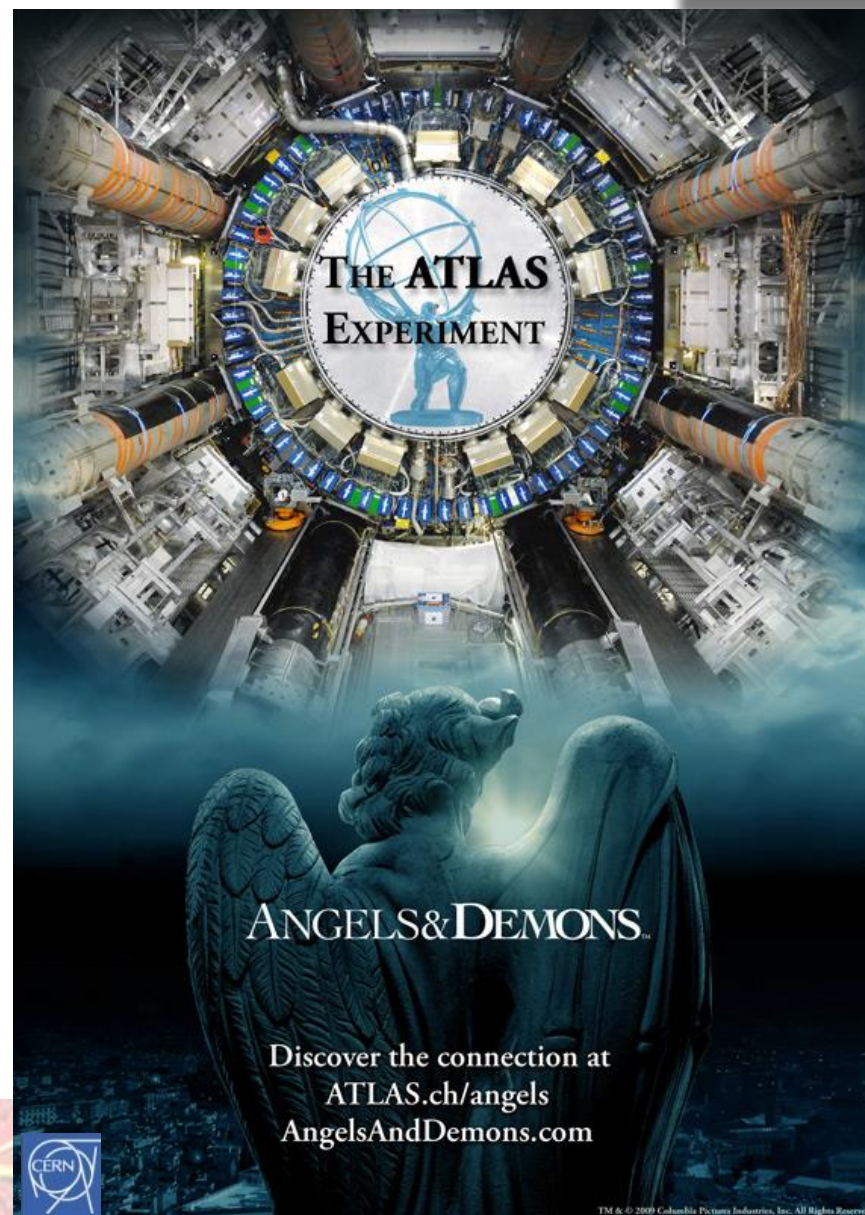
[ATLAS.ch/angels](http://ATLAS.ch/angels)

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. ½ grama.



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

$$\left\{ \hbar \left( \frac{\partial}{\partial x} + \alpha \frac{\partial}{\partial x'} \right) + \alpha \pi c \right\} \psi = 0$$



$$E = mc^2$$

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

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

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.**

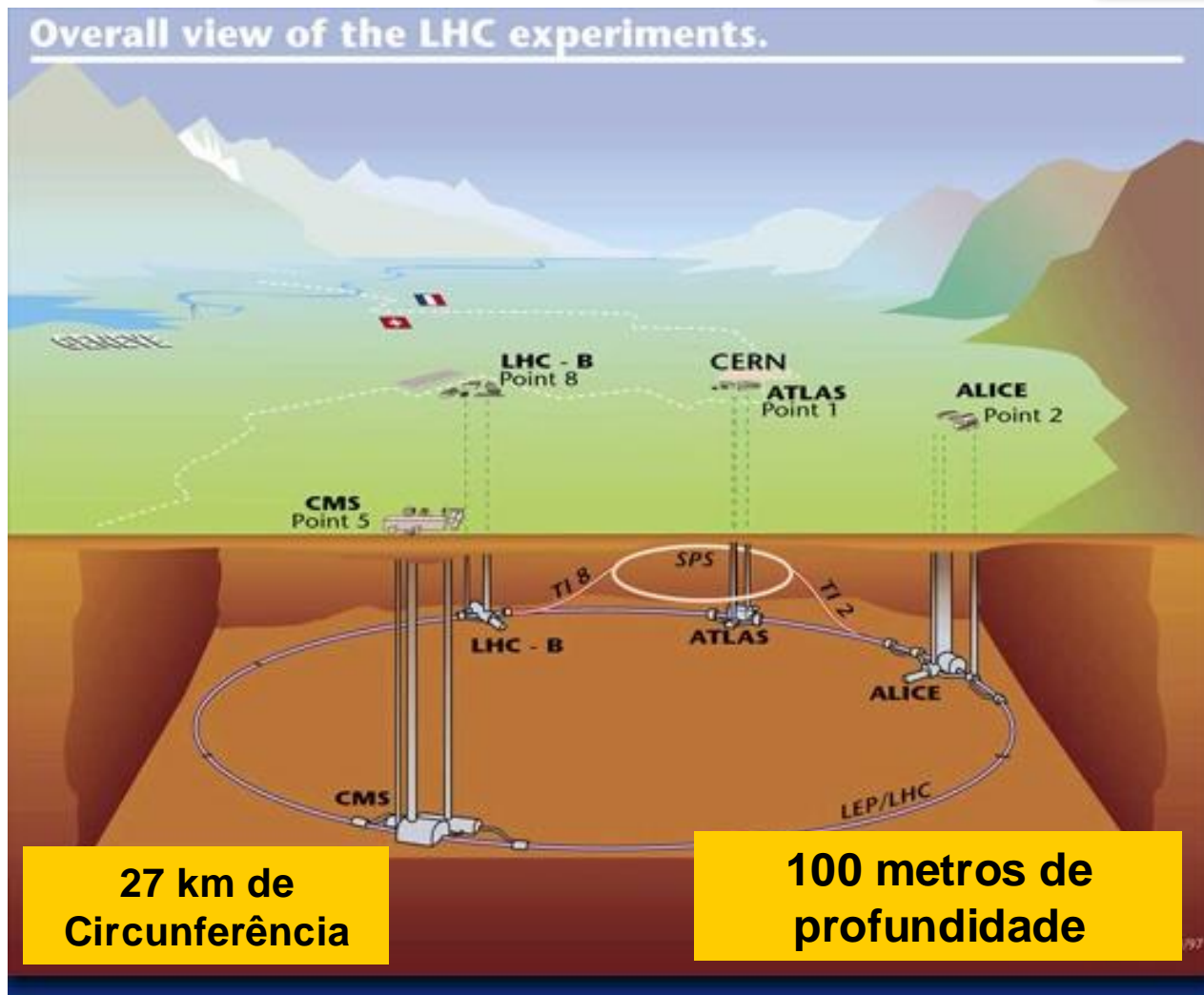


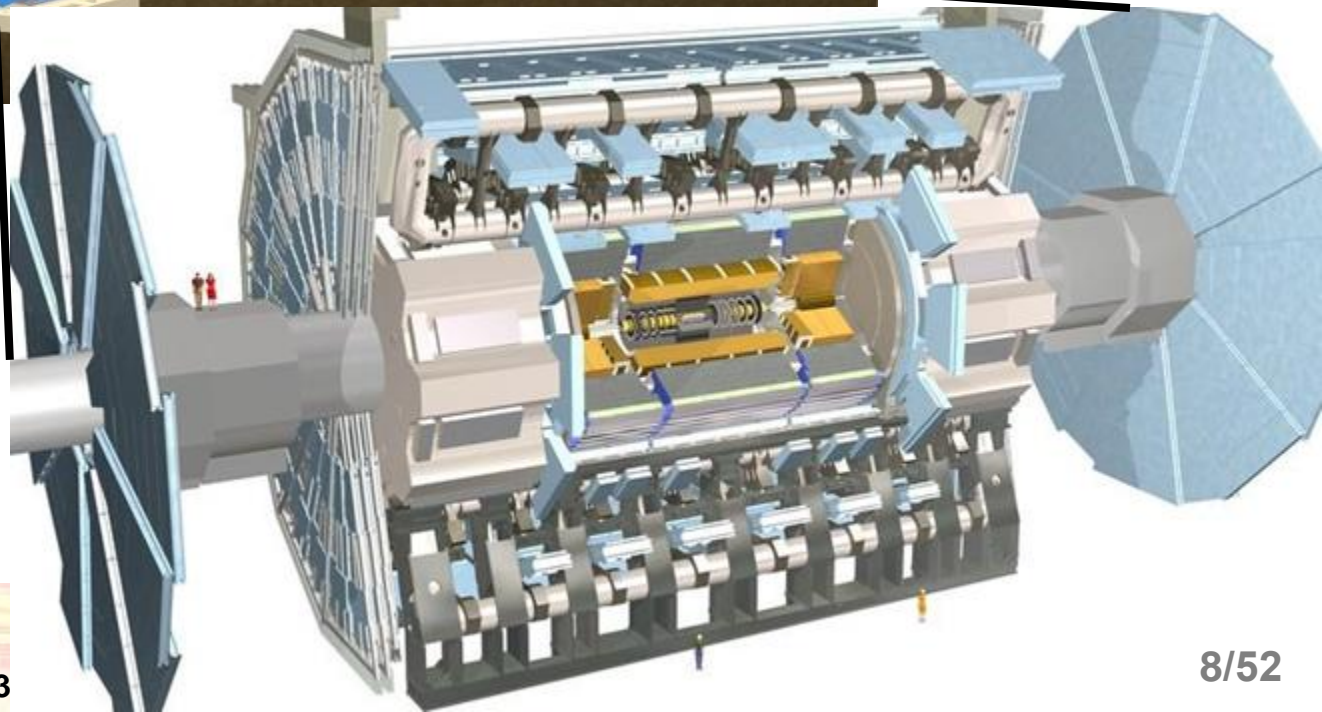


Então, o que é o LHC?

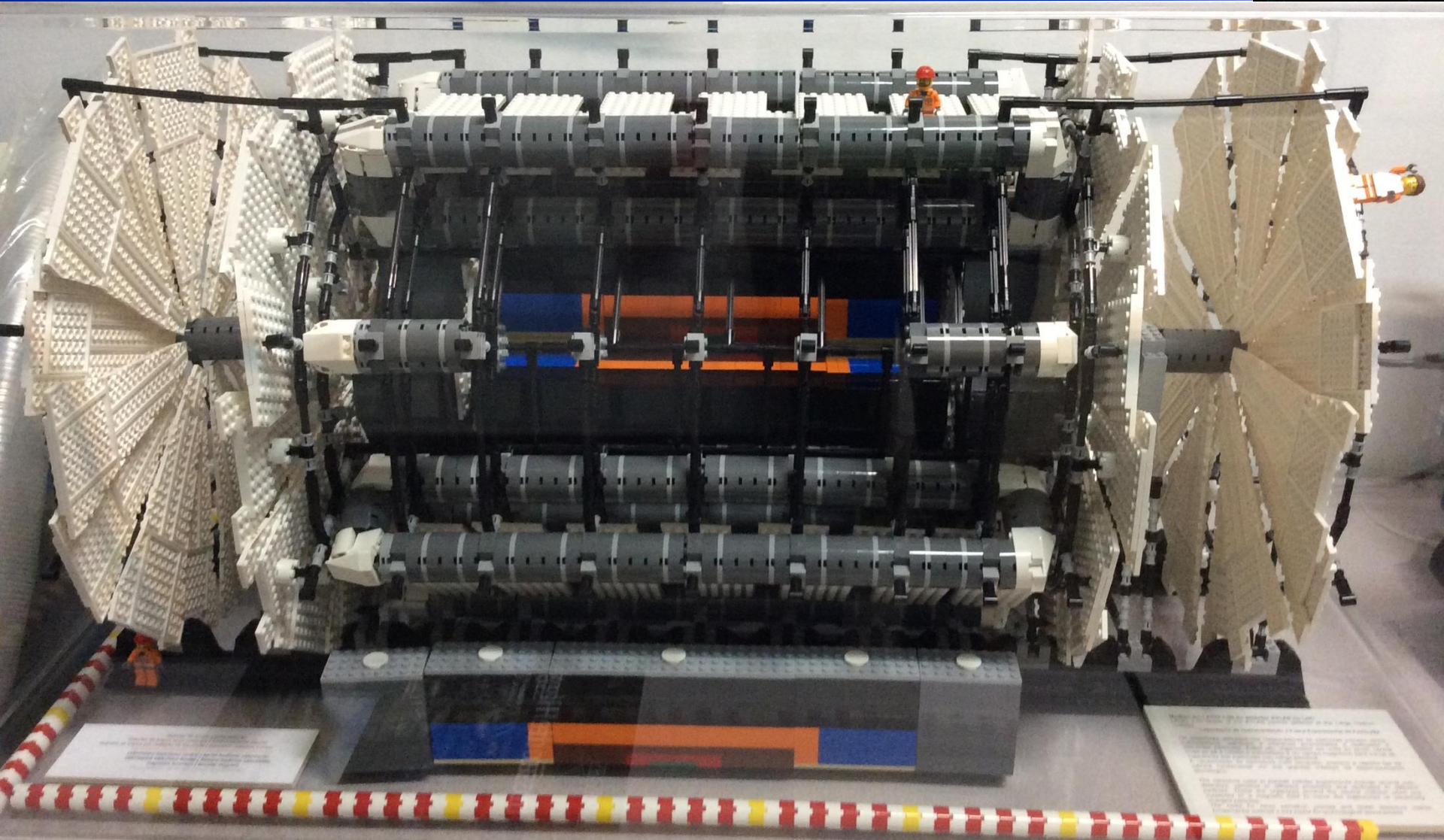
O LHC é um acelerador localizado no CERN

Protões circulam em sentidos opostos e colidem dentro das áreas experimentais







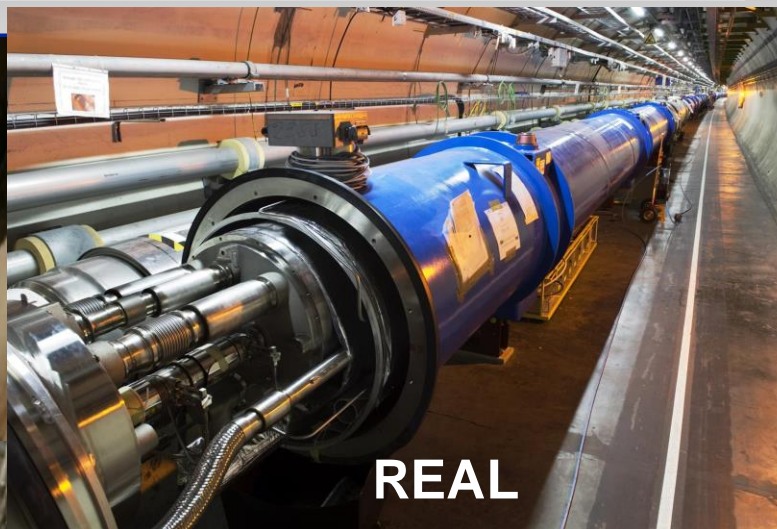




# O CERN real no filme A.&D.



REAL



REAL



REAL



REAL

LHC a injectar protões, feixe um.



REAL



# O CERN ficção no filme A.&D.



**FICÇÃO**

**PALERMICE**

**E esta, hem?!**

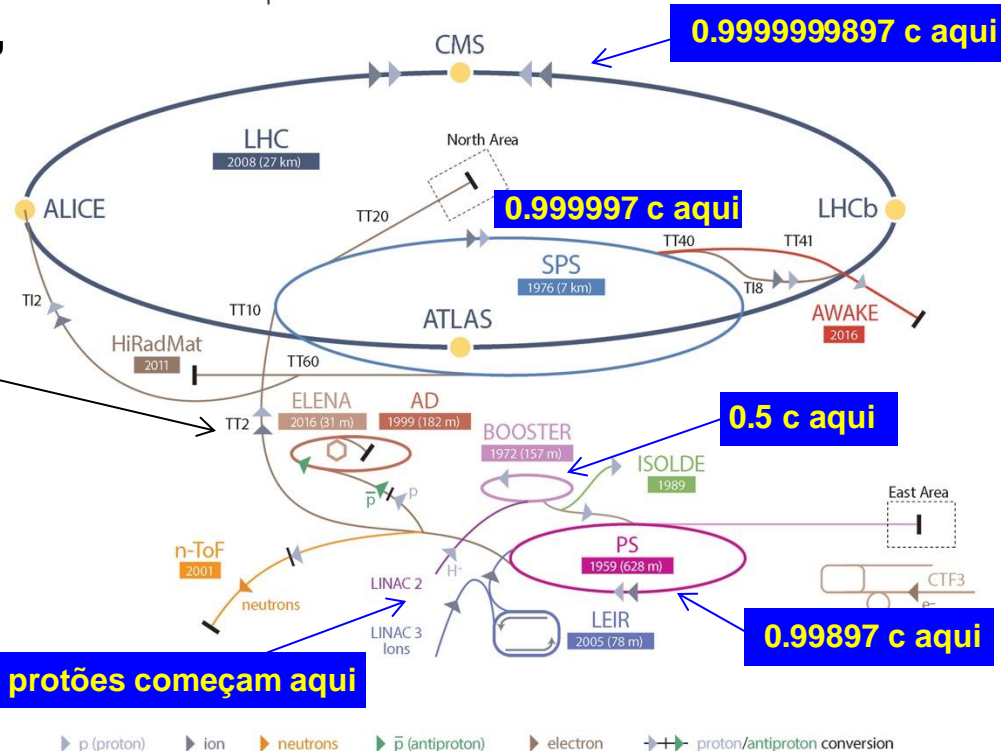




Mas **NÃO** em quantidades **no LHC!**

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

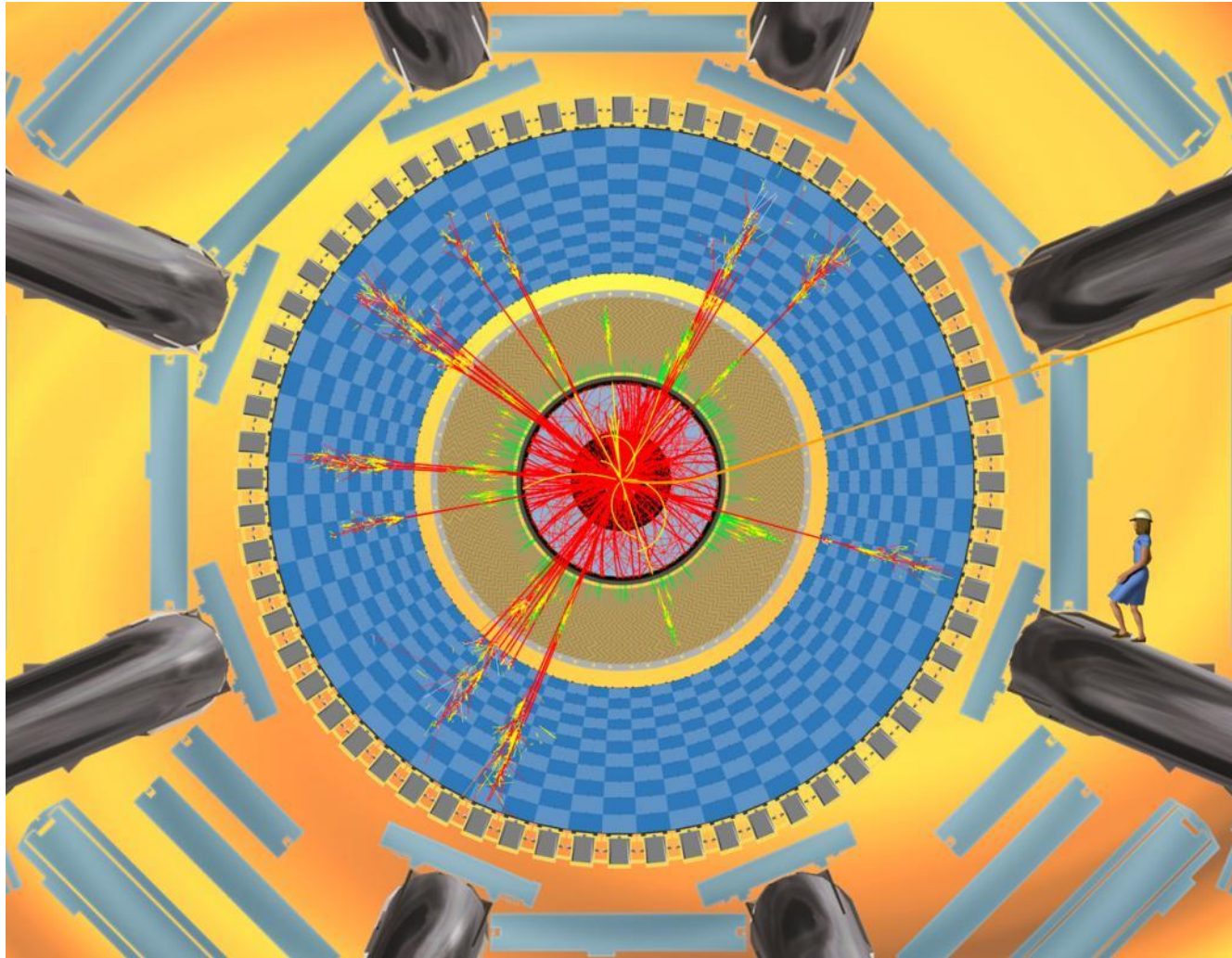


**60 anos de história no CERN ainda operacionais**



**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.



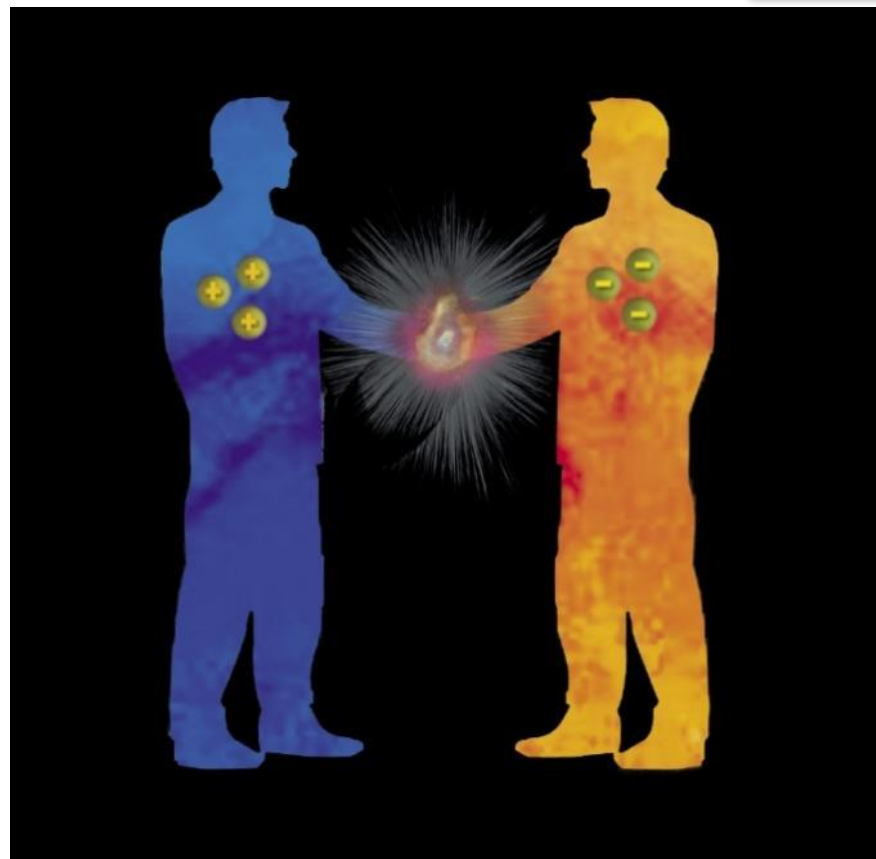
ANGELS & DEMONS



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:

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

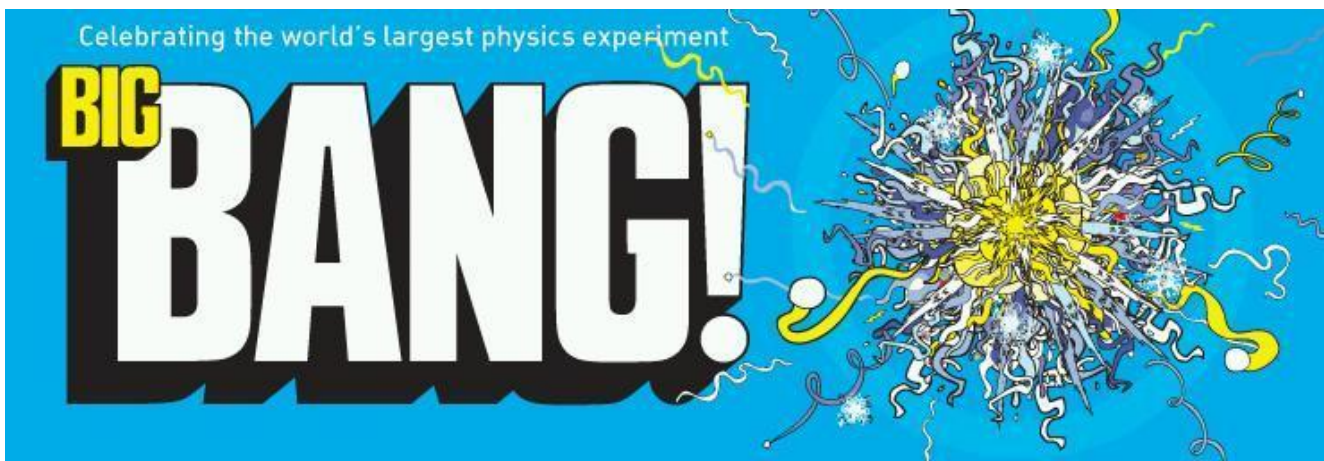


$$(0,0005 \text{ kg} + 0,0005 \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 9 \times 10^{-3+16} \approx 9 \times 10^{13} \text{ J} \dots \text{buuum!}$$

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

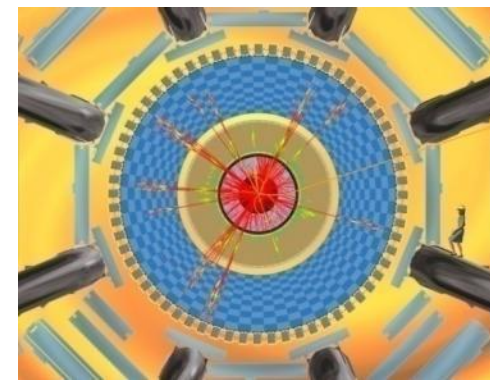


De facto, o



produziu quantidades iguais  
de matéria e de antimatéria.

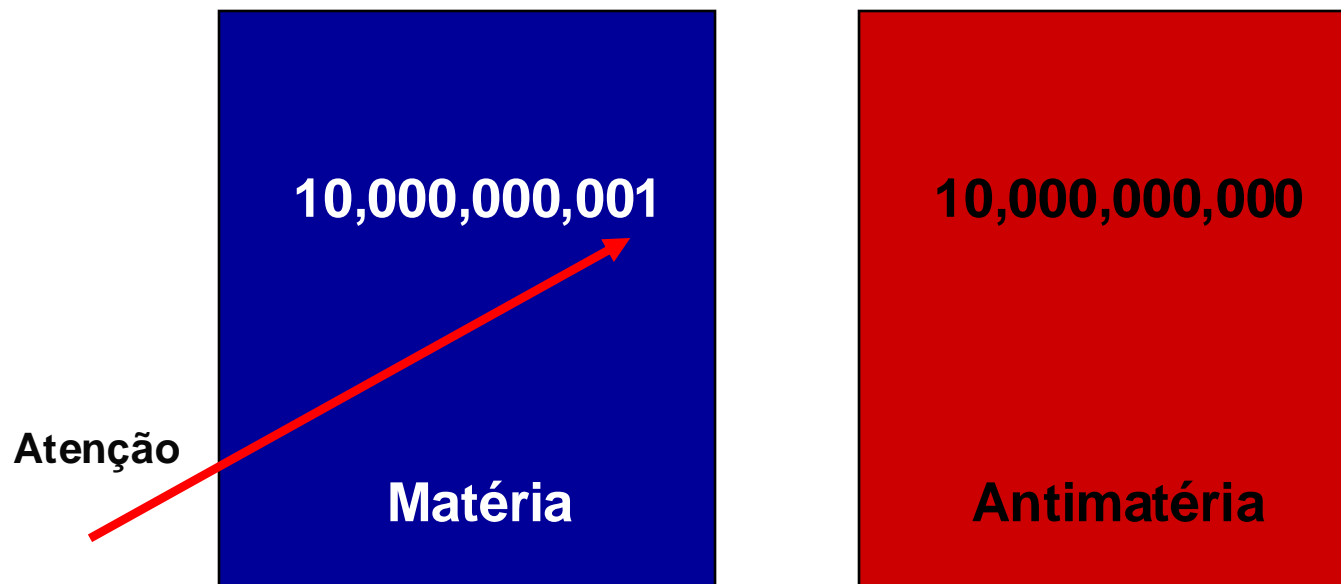
Tal qual a Experiência ATLAS!







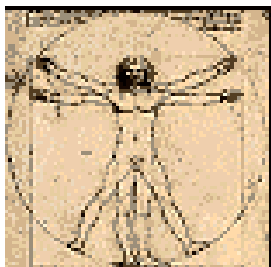
Muito pouco tempo depois do Big Bang, as quantidades de matéria e de antimatéria... não eram exatamente iguais



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



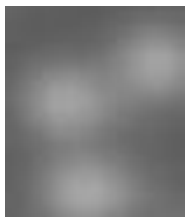
**TODA a antimatéria, e TODA a matéria exceto um bocadinho desapareceram... e este bocadinho somos **nós!****



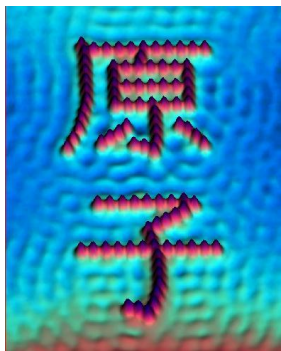
“EXATAMENTE” a mesma coisa que a Matéria:

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

Constituídas por elementos (átomos) como

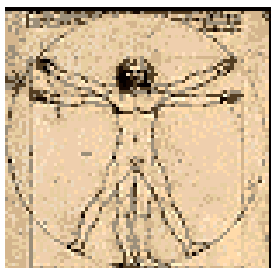


**Hidrogénio,  
Cálcio,  
Ferro,  
Carbono,  
Azoto,  
Oxigénio,  
Cloro,  
[Hélio],  
e outros 100  
elementos ...**



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		

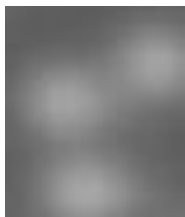
# O Que é então a Antimatéria?



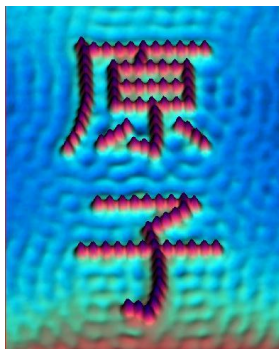
“EXATAMENTE” a mesma coisa que a Matéria:

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

Constituídas por elementos (átomos) como



**Hidrogénio,  
Cálcio,  
Ferro,  
Carbono,  
Azoto,  
Oxigénio,  
Cloro,  
[Hélio],  
e outros 100  
elementos ...**



1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	-71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	-103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

- Known in antiquity
- also known when (akw) Lavoisier published his list of elements (1789)
- akw Mendeleev published his periodic table (1869)
- akw Deming published his periodic table (1923)
- akw Seaborg published his periodic table (1945)
- also known (ak) up to 2000
- ak to 2012

**...DISTRIBUIÇÃO ELETRÓNICA!**



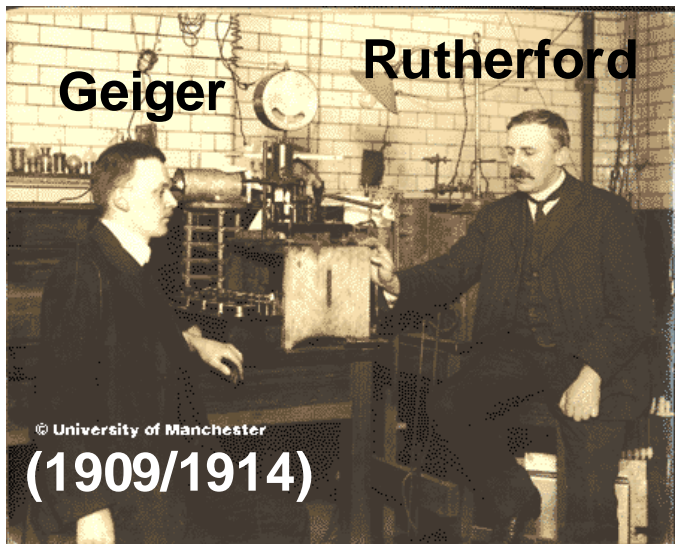
## O Átomo é feito de Espaço!

**VAZIO**

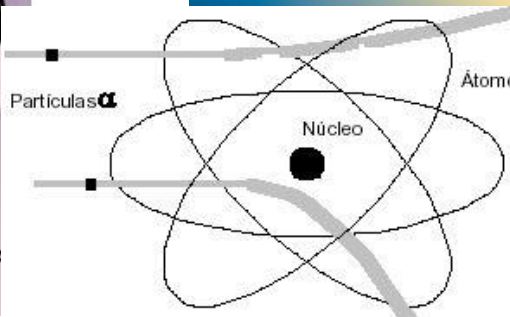
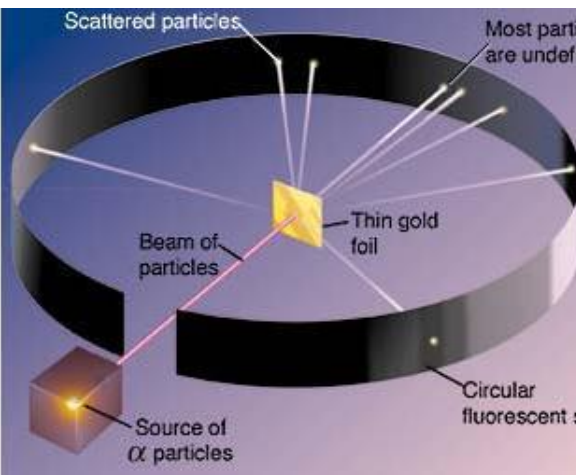
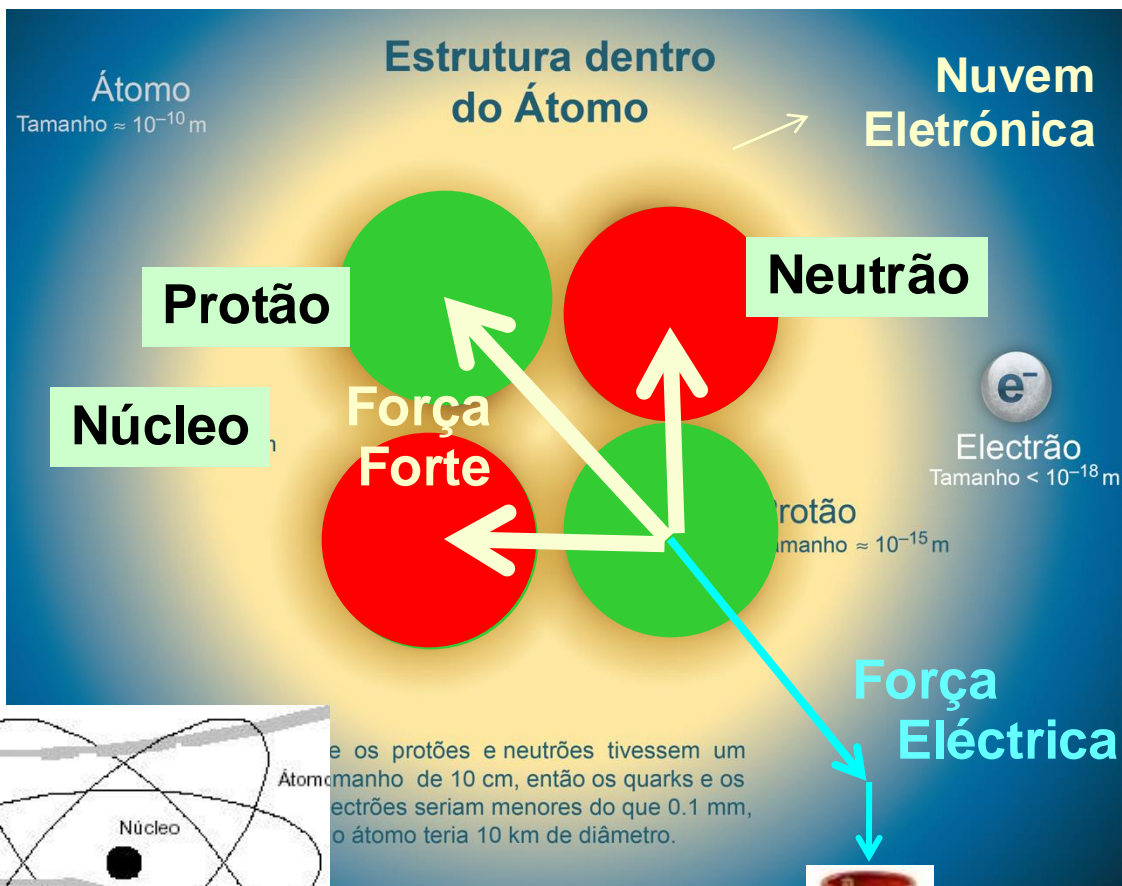
(99,999 999 999 9% do volume)

•  
(núcleo x100)



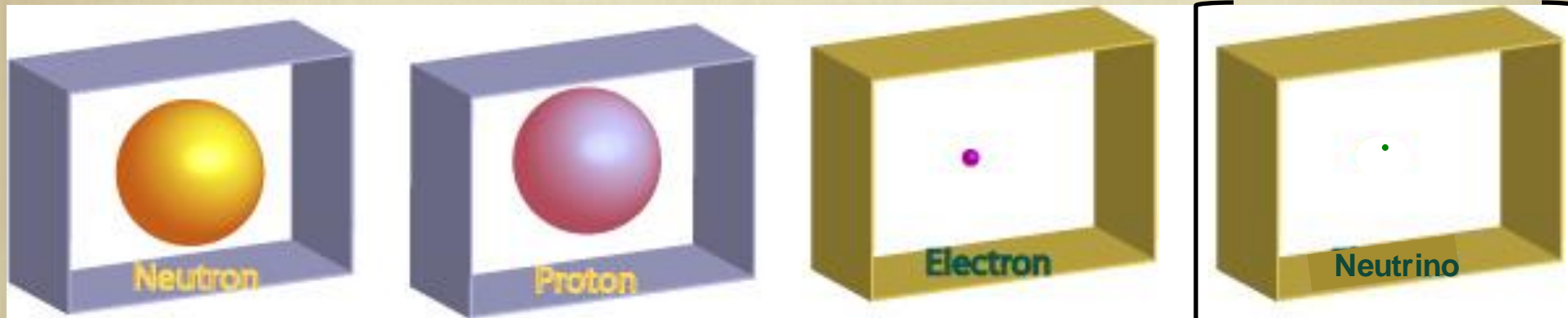


## Núcleo rodeado por uma nuvem eletrónica!



# 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  
 $\phi$   
 Phi  
 $\rho^+$   $\rho^-$   $\rho^0$   
 Rho

(todas instáveis)  
**Mesões +140**

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

$p$ ,  $n$   
 próton, neutrão

(decaem até ao próton)  
**+120 BARIÕES**

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

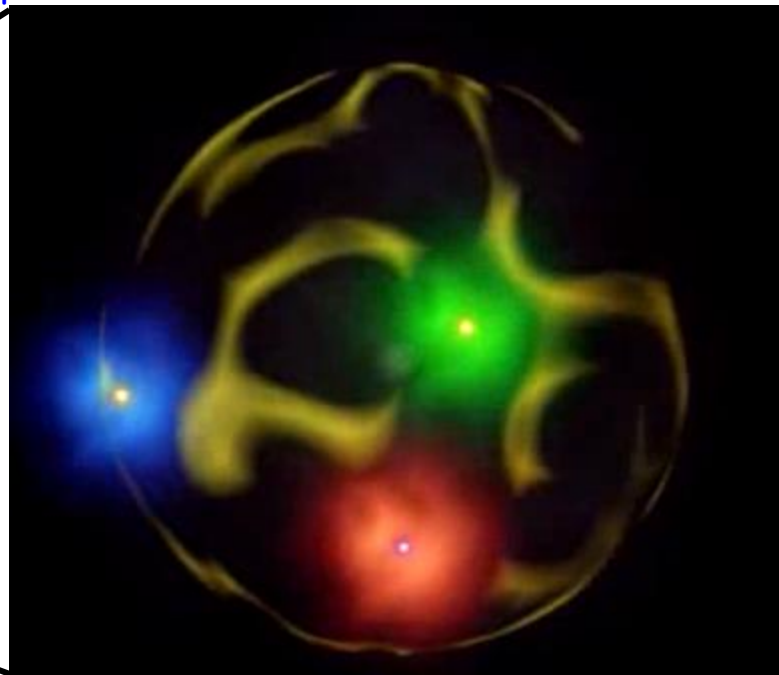
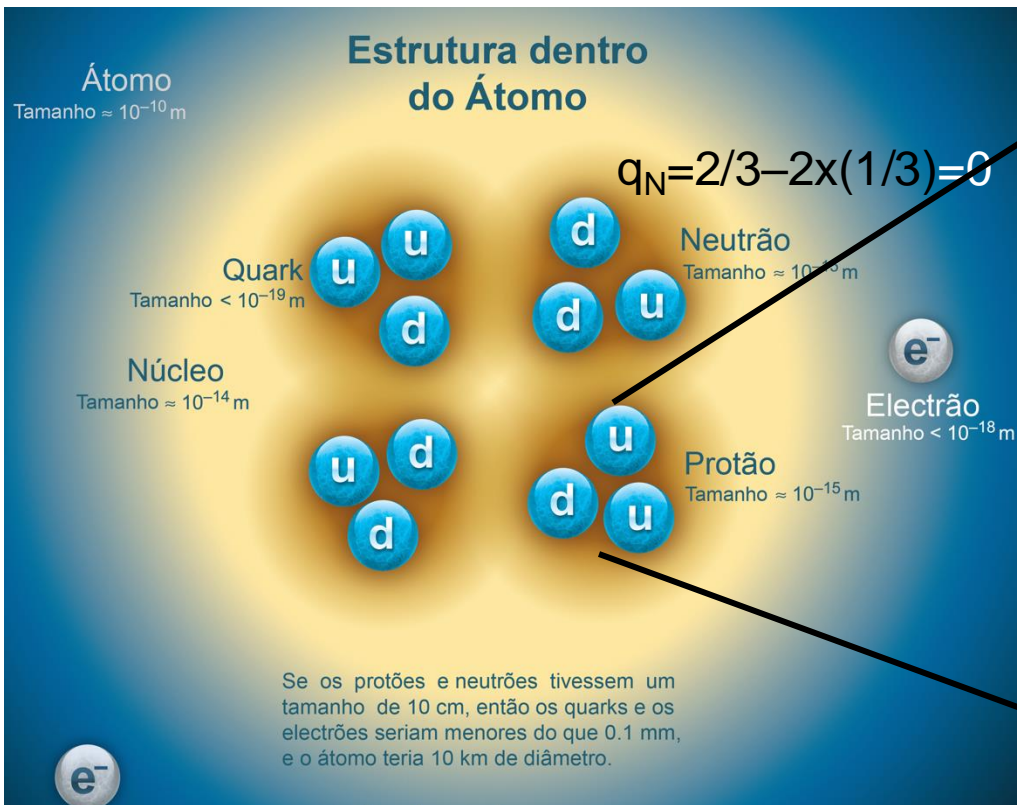
Nome Quark	Carga Eléctrica	Spin [h/(2π)]	
u (up)	+2/3 (e)	+1/2	● ● ●
d (down)	-1/3 (e)	+1/2	● ● ●

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

**PROTÃO** = **uud** = incolor!

$$q_p = 2 \times (2/3) - 1/3 = 3/3 = 1 \text{ (e)}$$

mas realidade complexa!



os gluões também são coloridos

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

# 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

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  $\approx 1.05 \times 10^{-34}$  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** ao atravessar a diferença em que  $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$ . A massa do próton é  $1.67 \times 10^{-27}$  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

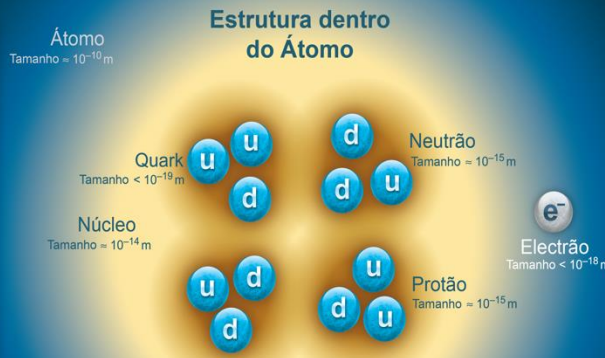
Para cada tipo de partícula existe o correspondente tipo de antipartícula, indicado com uma barra sobre o símbolo da partícula (excepto se se mostrar a carga + ou -). A partícula e a antipartícula têm a mesma massa e spin mas cargas eléctricas opostas. Alguns bósons electricamente neutros (por ex.,  $Z^0$ ,  $\gamma$ , 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 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  $\beta$  (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 menores do que 0,1 mm.

## 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 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. Os glúões interagem trocando cores.

<http://www.cpepphysics.org/fundamental-articles.html>

Propriedade	Interação Gravitacional	Interação Fraca (Electrofraca)	Interação Electromagnética (Electrofraca)	Interação 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 $\left\{ \begin{array}{l} 10^{-18} \text{ m} \\ 3 \times 10^{-17} \text{ m} \end{array} \right.$	$10^{-41}$	0.8	1	25
	$10^{-41}$	$10^{-4}$	1	60

partículas "colordas" (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 hadrões, que são as partículas observáveis.

Dois tipos de hadrões foram observados na natureza: mesões  $q\bar{q}$  e bárions  $qqq$ . Entre os muitos tipos de bárões 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  $B^0$  ( $d\bar{s}$ ).

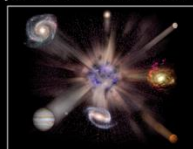
Saiba mais em [ParticleAdventure.org](http://ParticleAdventure.org)



## 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?



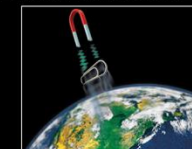
Matéria e antimatéria terão sido criadas em iguais quantidades no Big Bang. Porque é que agora vemos só matéria, à excepção de quantidades diminutas de antimatéria criadas em laboratório ou nos Raios Cósmicos?

### 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 gravítica, 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!**



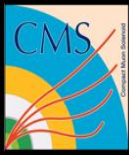
## BOSÕES

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



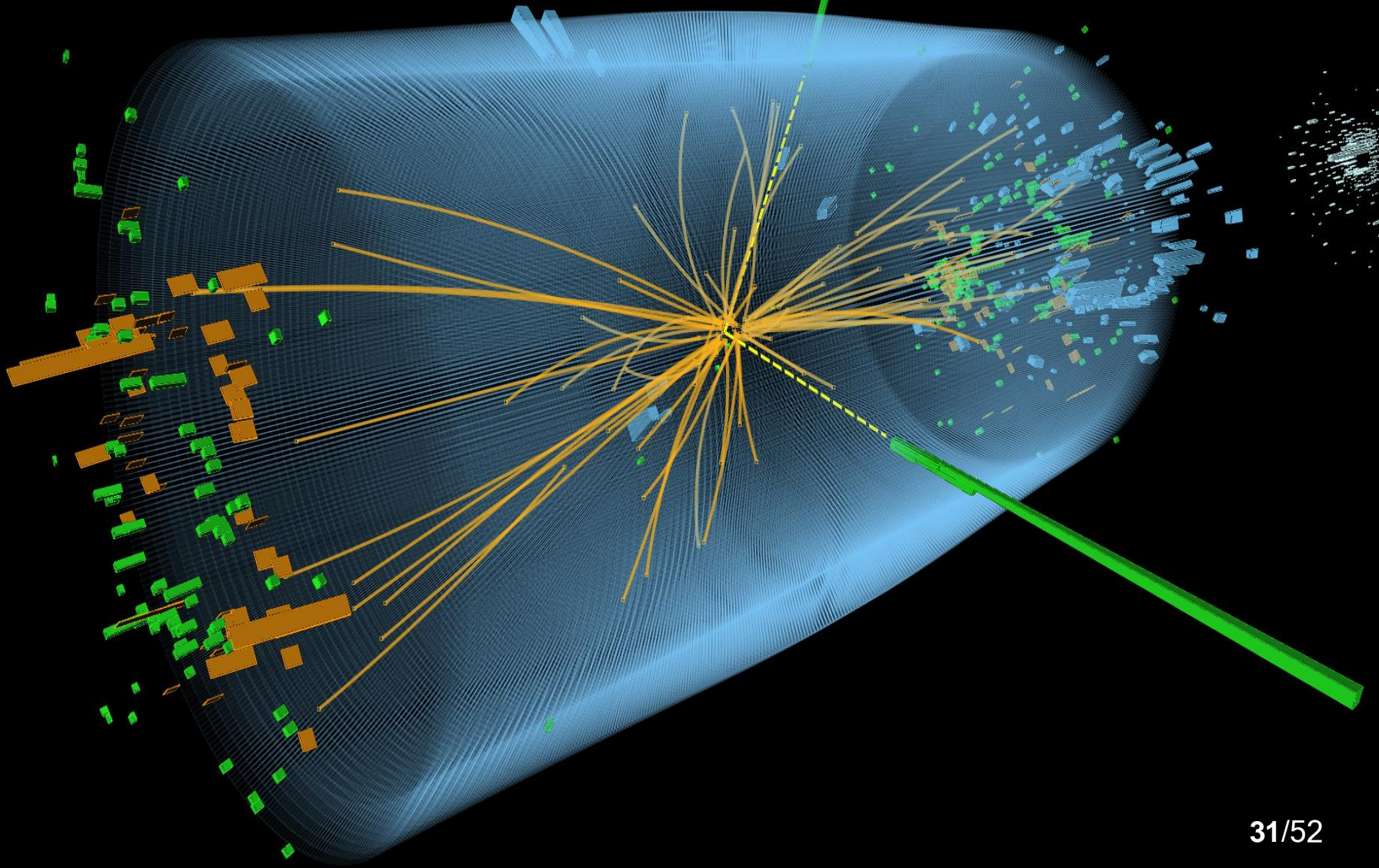
CMS Experiment at the LHC, CERN

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

Run/Event: 194108 / 564224000

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

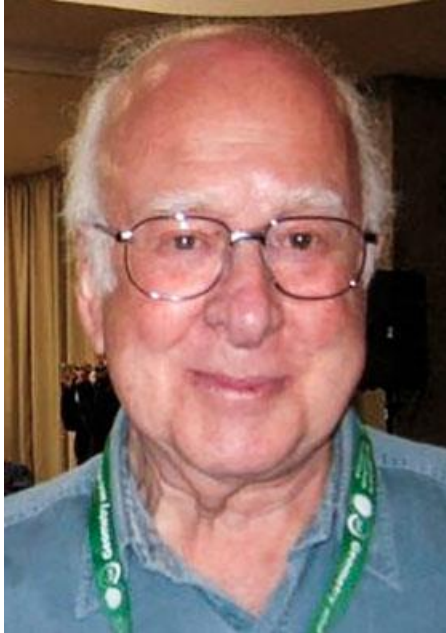
(possível decaimento do bóson H em 2 fótons)



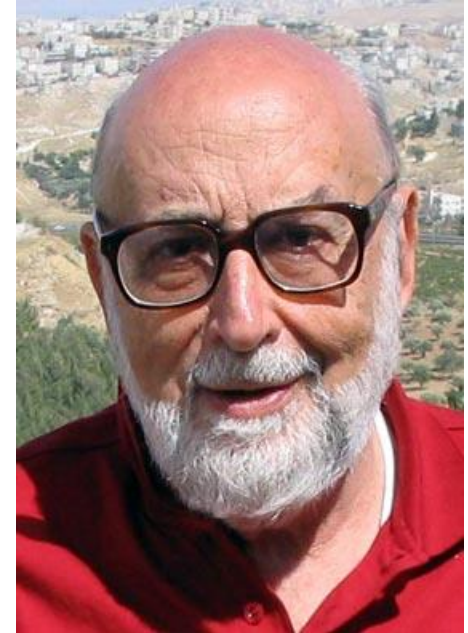
# A Descoberta do bóson de Higgs... ...premiada com o Prémio Nobel 2013:



**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](#)

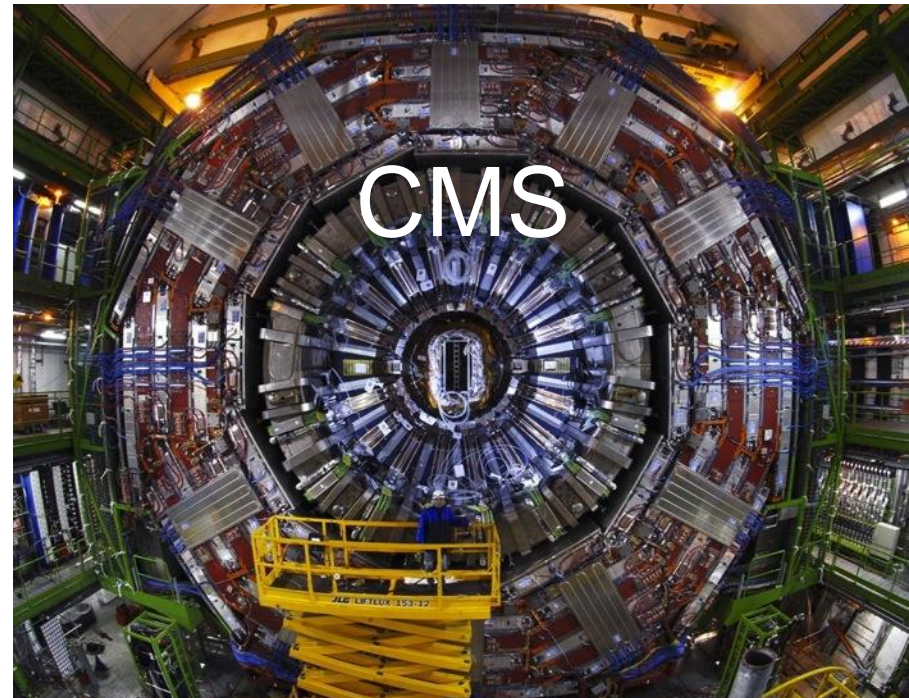
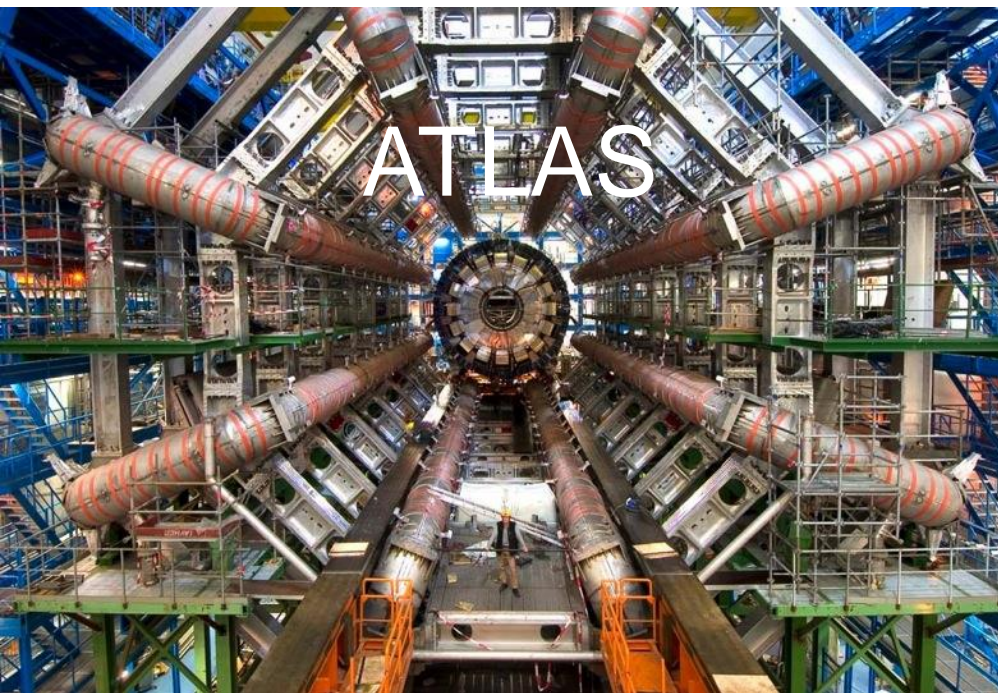
As a business [leader](#), imagine trying to [manage](#) more than 7,000 scientists from 85 countries around the world—with their own languages, cultures, and expertise—on a 20-year collaboration to create the most complex system ever built.



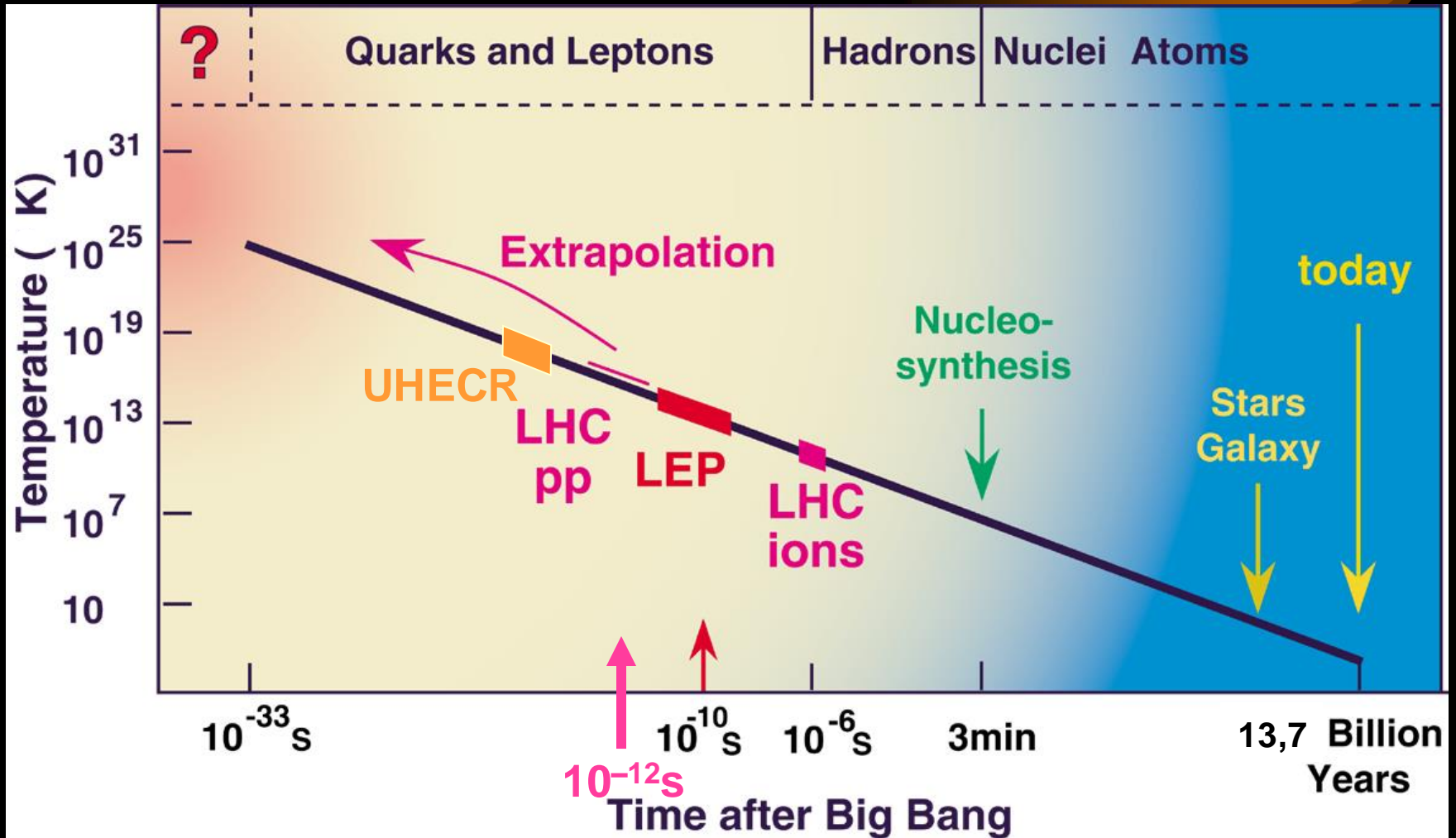
# Acelerador LHC



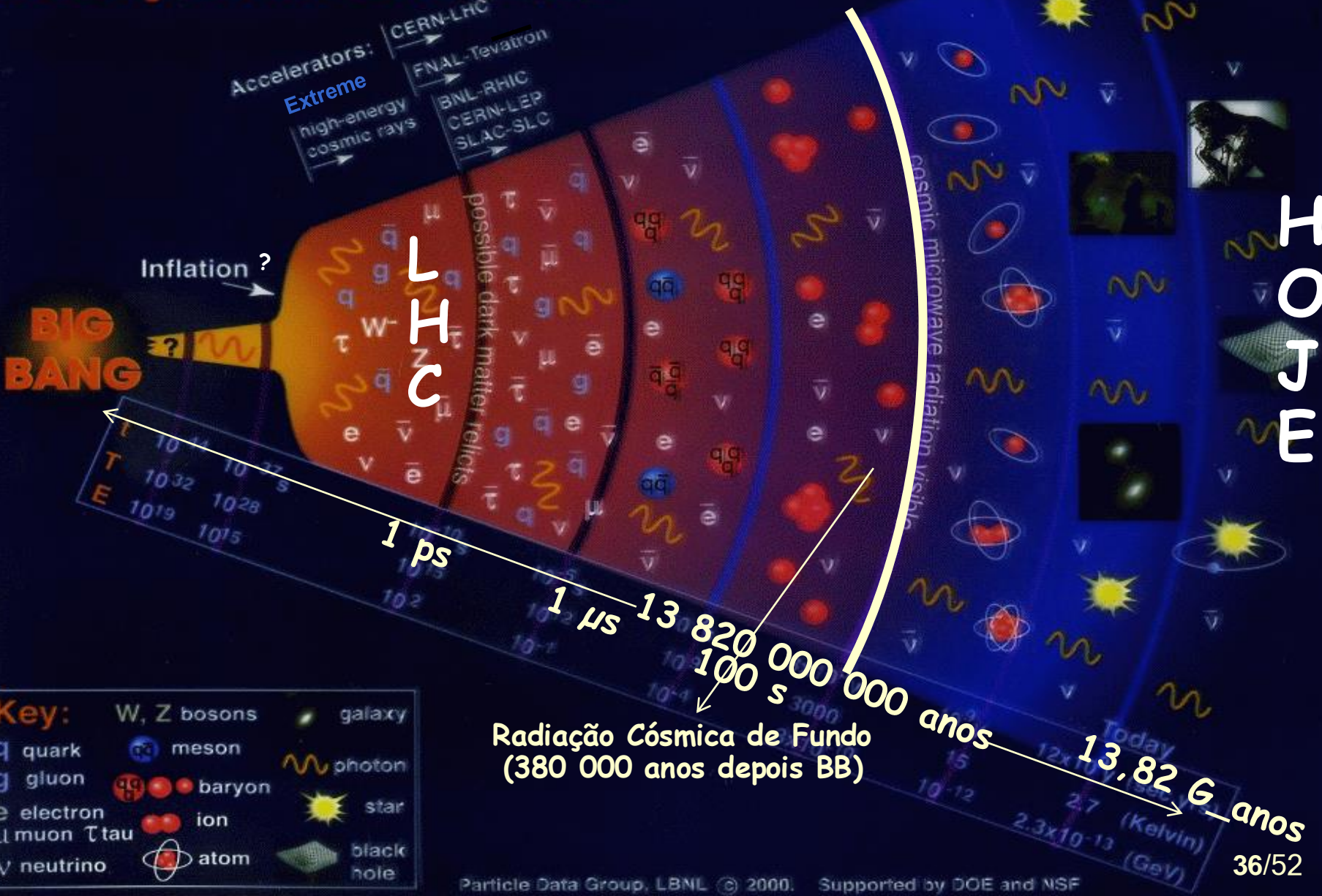
Detectores LHC envolvidos na descoberta do B.Higgs



# Para o início do Universo...



# History of the Universe

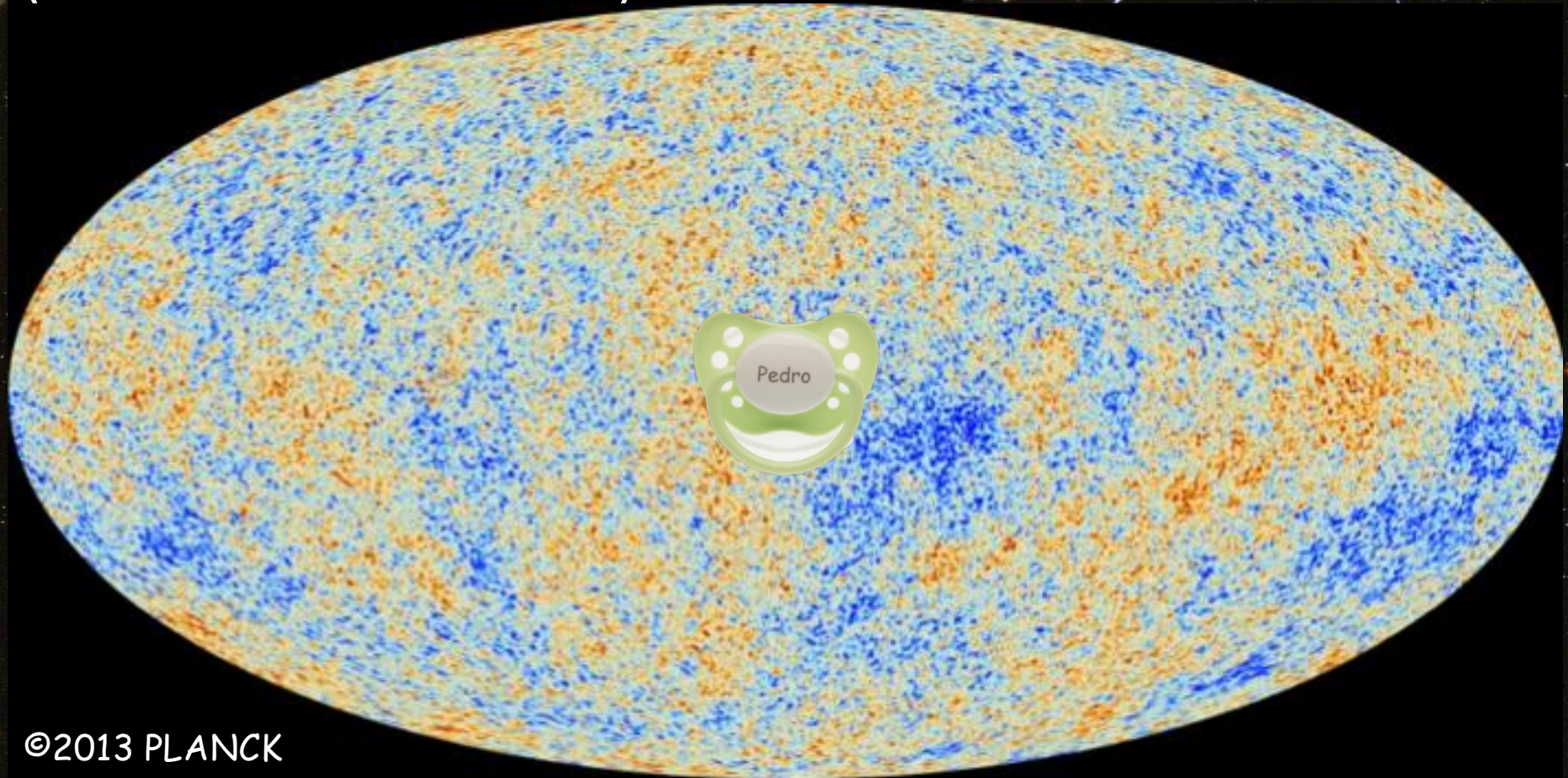


# A Radiação C3smica de Fundo do Universo

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

Uma fotografia do Universo beb3

(idade de 380 000 anos)



32013 PLANCK

30 de agosto  
2024

LIP, Lisboa...

37/52

**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!!!

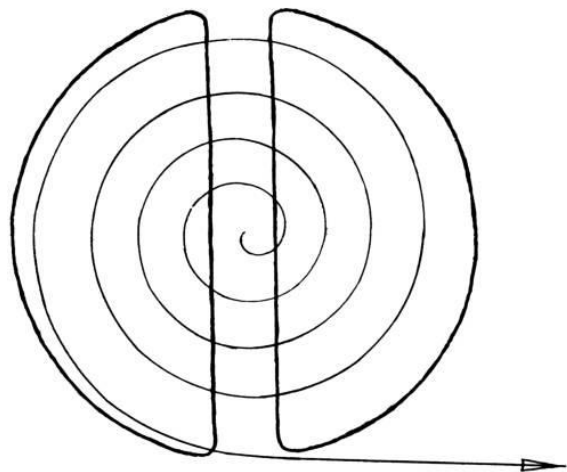
- Onde está a Antimatéria ? (ou a Assimetria M-aM?)
- As 3 forças fundamentais unificar-se-ão? (ou as 4) ?
- As partículas elementares são mesmo elementares ?

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



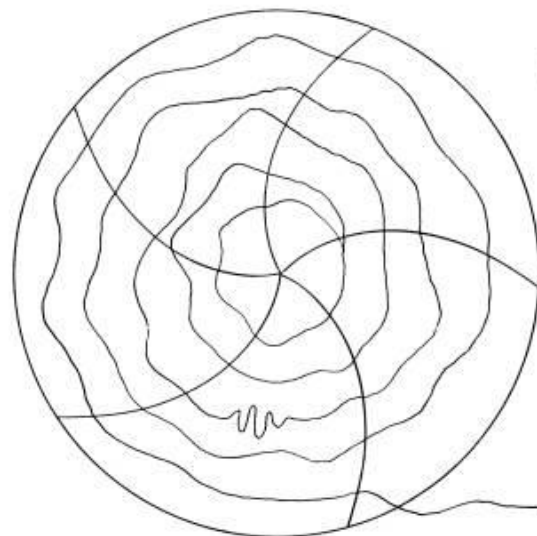
*...o inventor*

XBD9705-02291.TIF



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

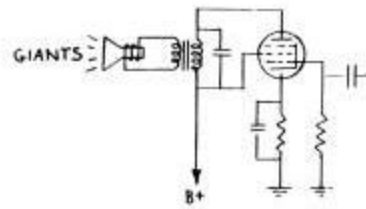
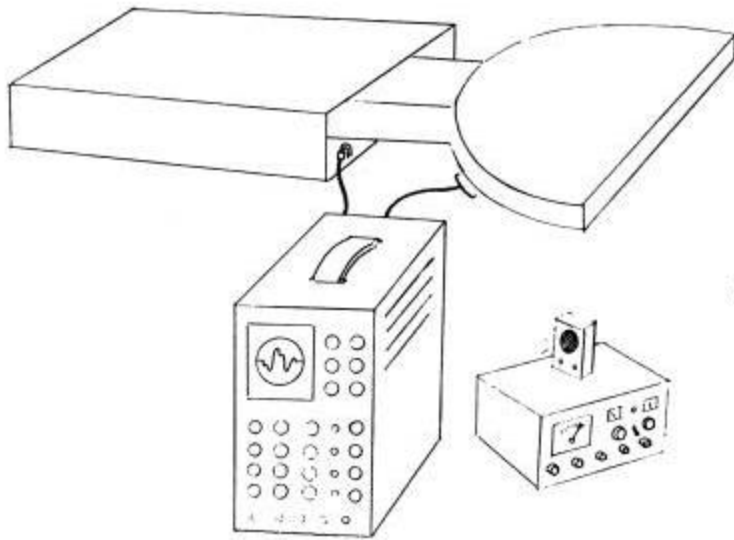
*...o físico experimental*



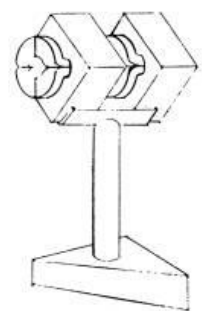
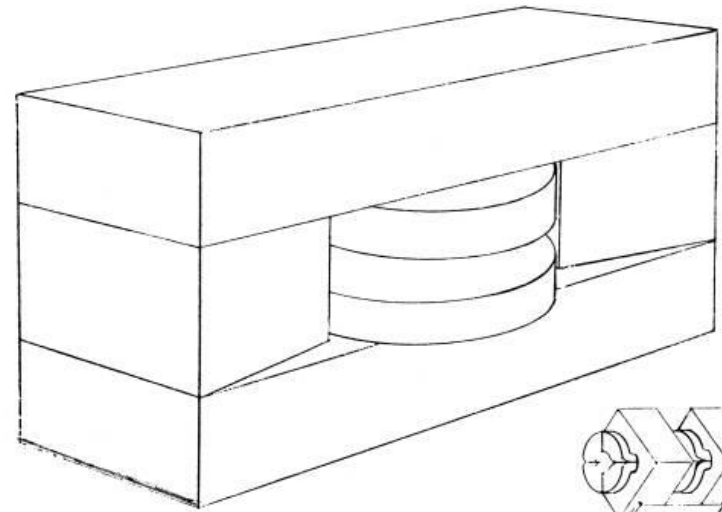
$$r = r_0 \left[ 1 + \left( \frac{r\omega}{c} \right) \cos(3\theta + \delta_0 + \delta_1 r) + \left( \frac{r\omega}{c} \right)^2 \cos(5\theta + \delta_2 - \delta_2 r^2) + \left( \frac{r\omega}{c} \right)^3 \cos(7\theta + \delta_3 - \delta_3 r^3) + \dots \right] \times \left\{ \frac{e^{3/5 r^2 \ln Z}}{1 + (\frac{r}{Z})^{3/4}} \right\}$$

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

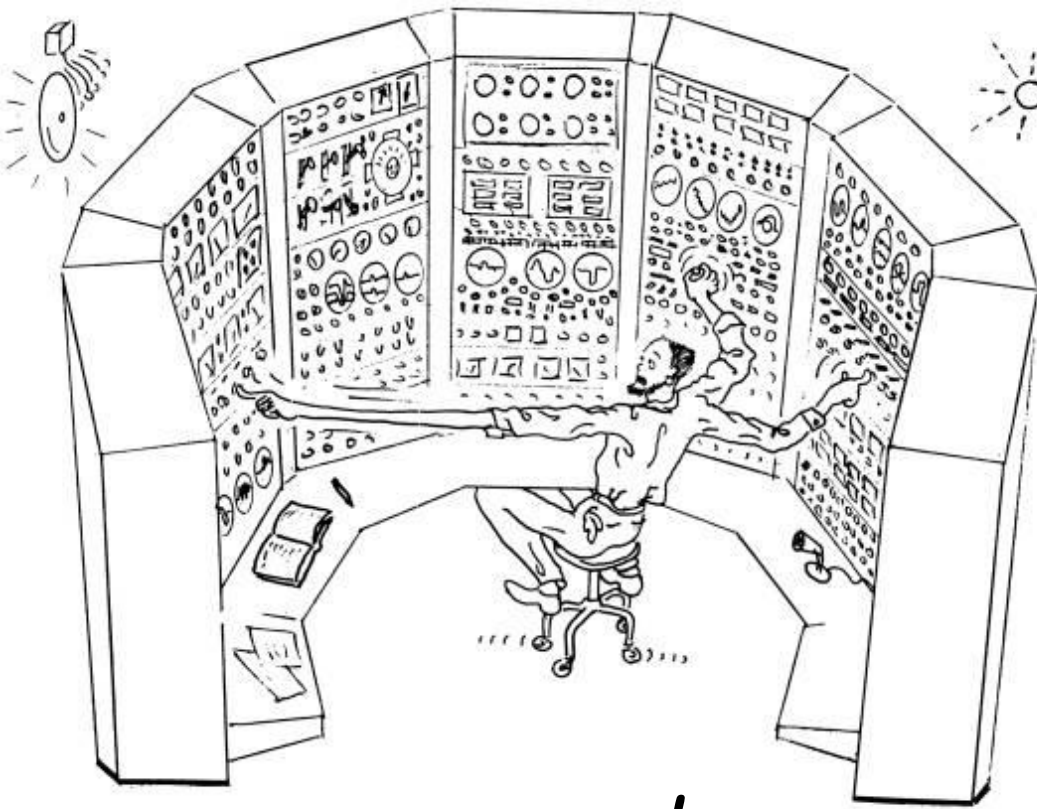
*...o físico teórico*



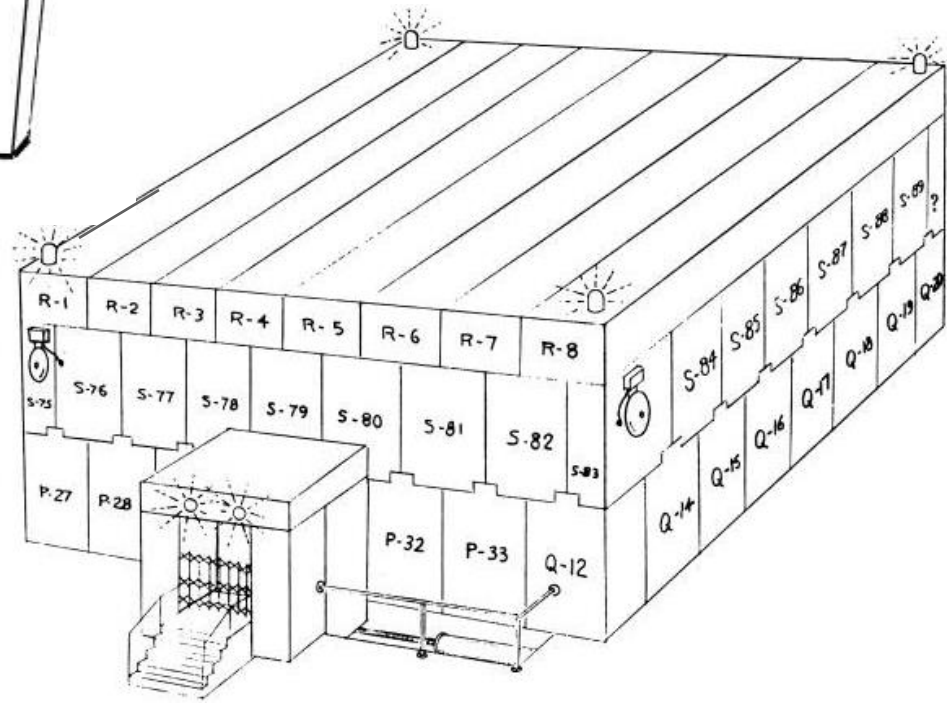
*...o engenheiro electrotécnico*



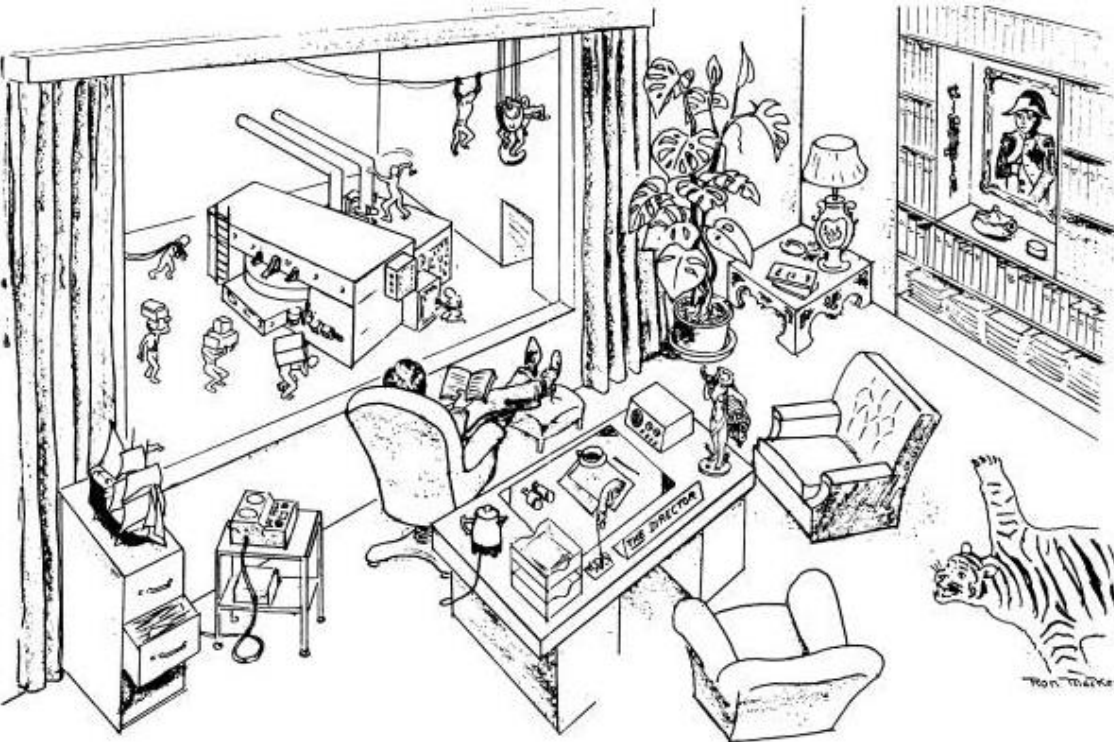
*...o engenheiro mecânico*



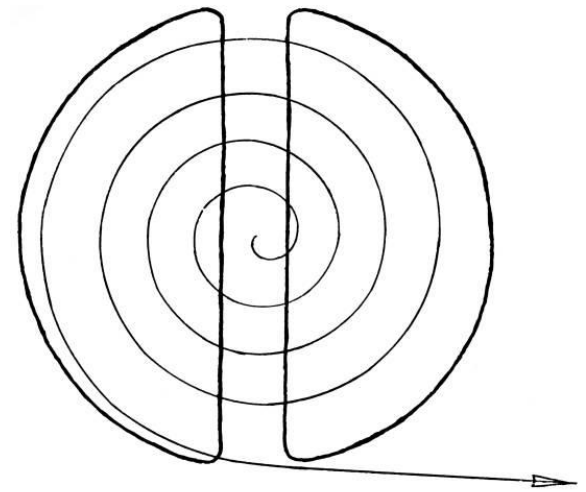
*...o operador*



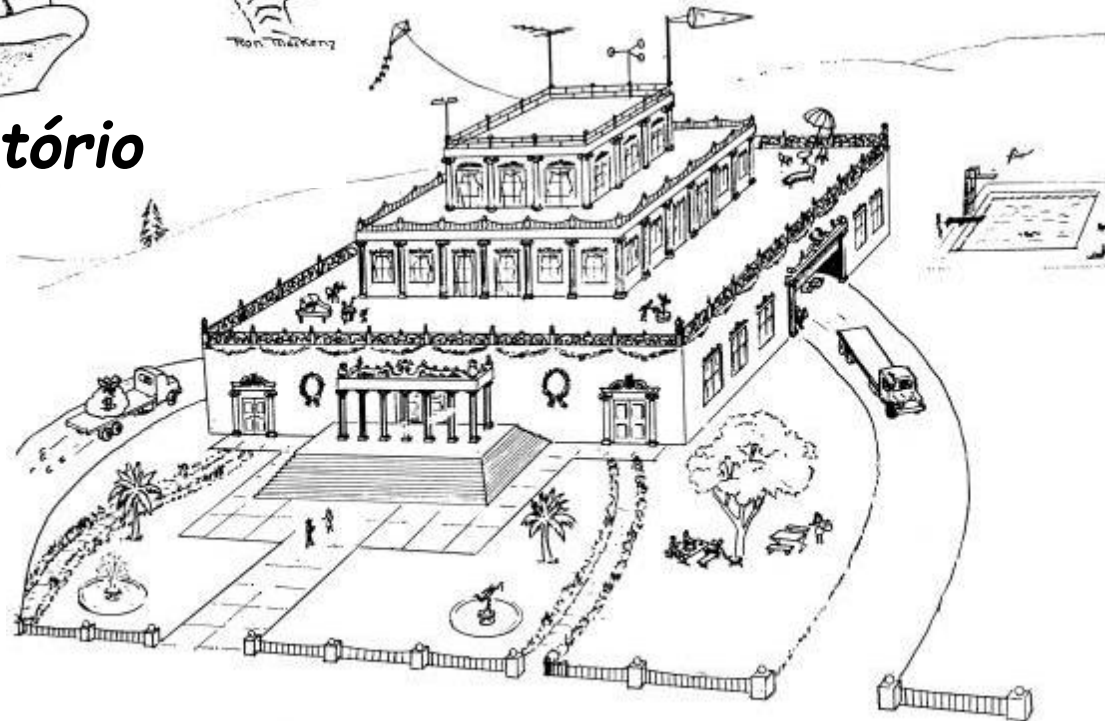
*...o médico*



*...o director do laboratório*



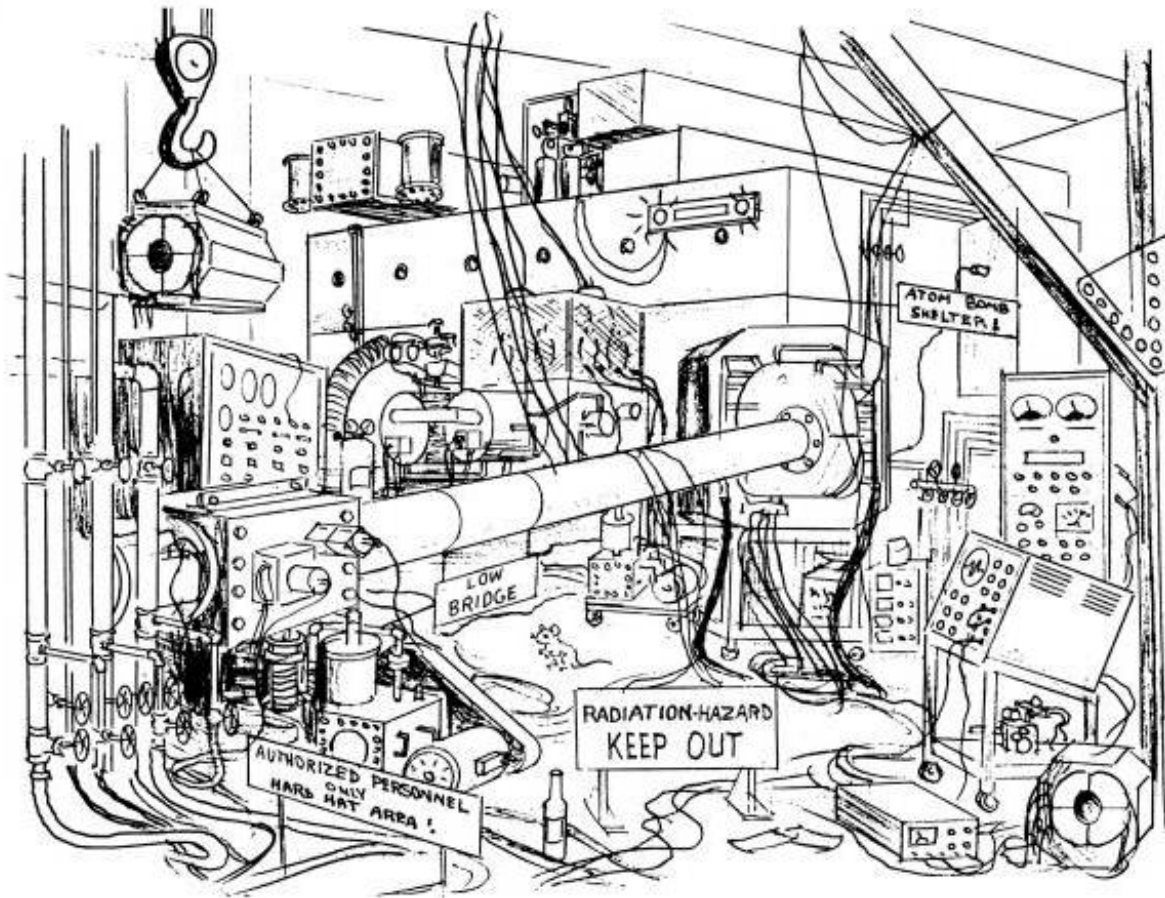
*...o estudante*



*...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!"*