

# Viagem ao Infinito



*Um caminho para*

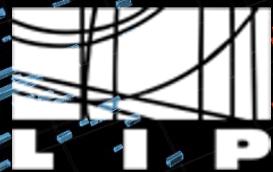
A nossa compreensão da estrutura da matéria

*Um caminho para*

A nossa INcompreensão da estrutura do universo

Pedro Abreu  
LIP, IST

Ciência Viva no Laboratório  
10.07.2023



préâmbulo:

# Para quê estudar Física ?!

O Problema:



# A Solução ?



**Não era bem isto...**



**Oops!... E agora ?!**



**Bom, vamos lá a ver agora...**



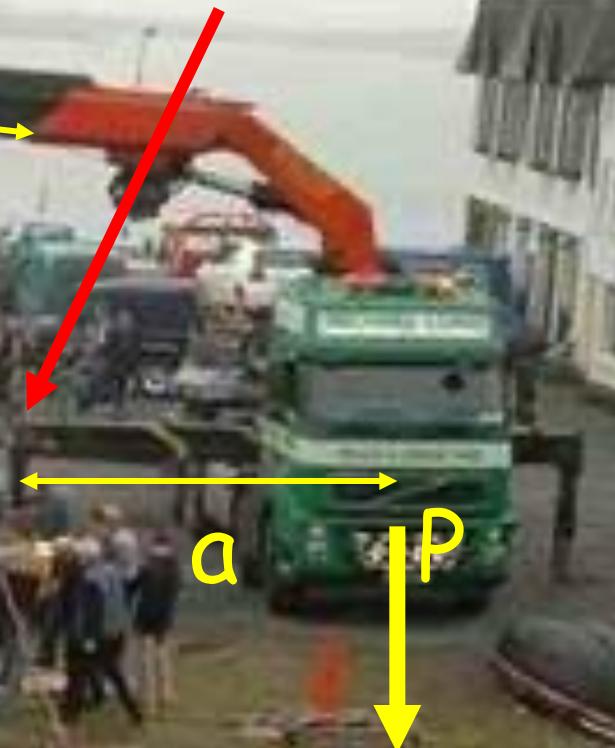
Parece que desta vai...

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

$$aP > A p$$

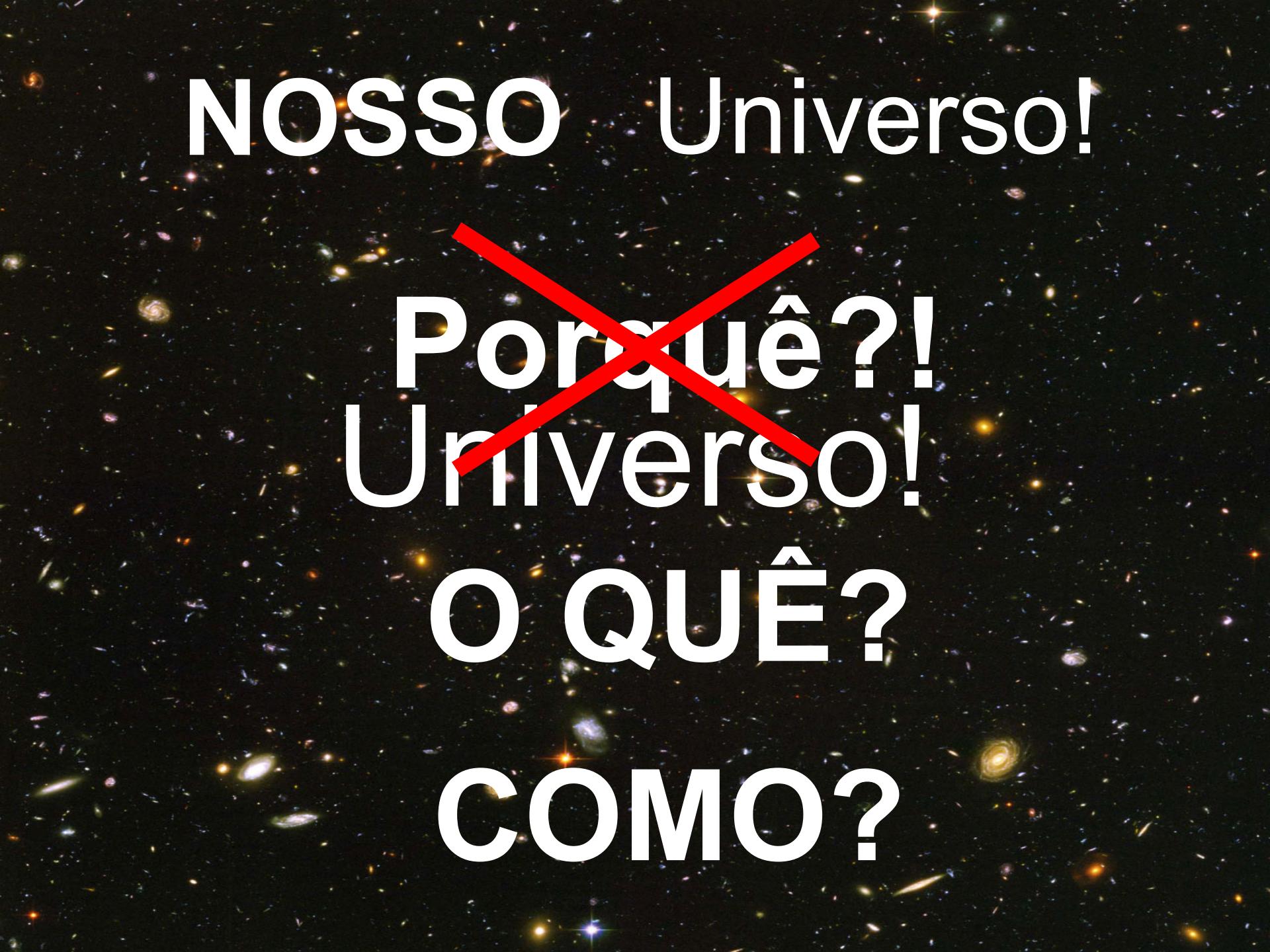


A



a P

FIM DO PREÂMBULO



**NOSSO Universo!**

~~**Porquê?!  
Universo!**~~

**O QUÊ?  
COMO?**

# Descrição do Universo: Egípcios (Nut Deusa dos Céus), ~2000 a.C.

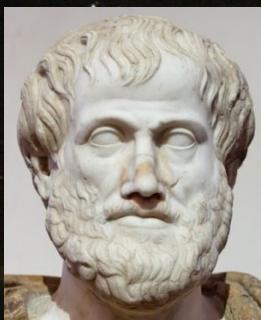
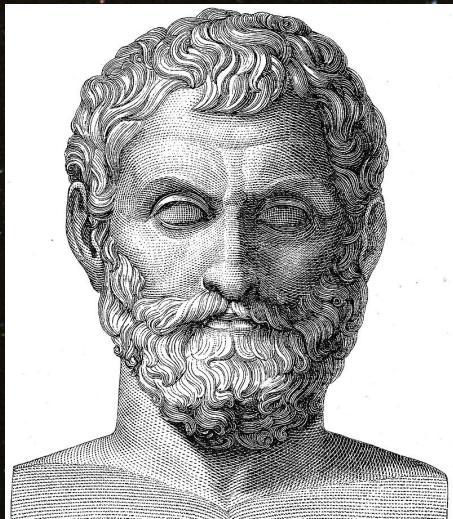


# DE QUE É QUE SOMOS FEITOS?!

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

Leucipo e Demócritos, séc. V a.C.: A-Tomos(\*)

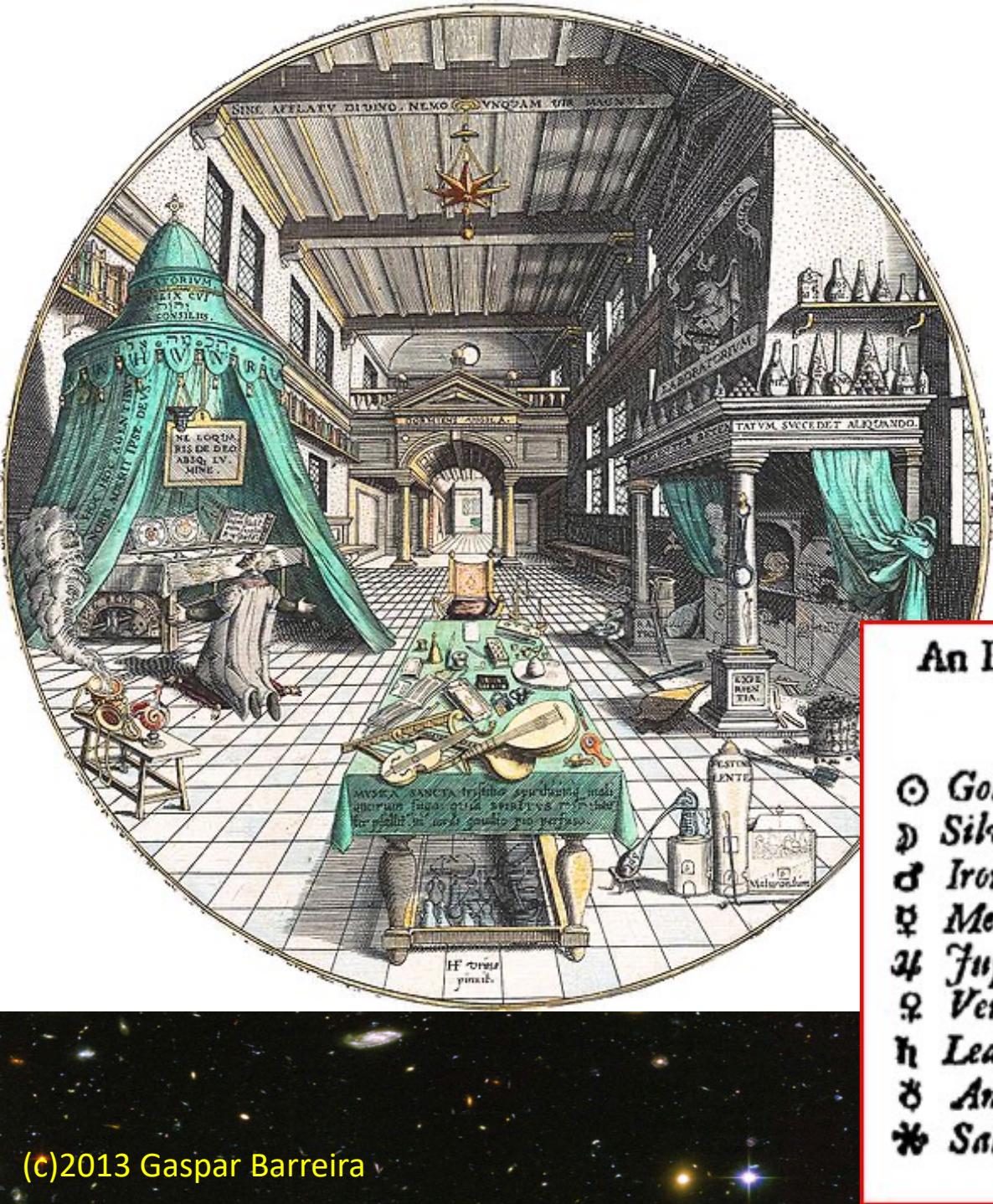
Empédocles, séc.V a.C.: os 4 elementos!



+a quintessência  
(Aristóteles, séc.III a.C.)



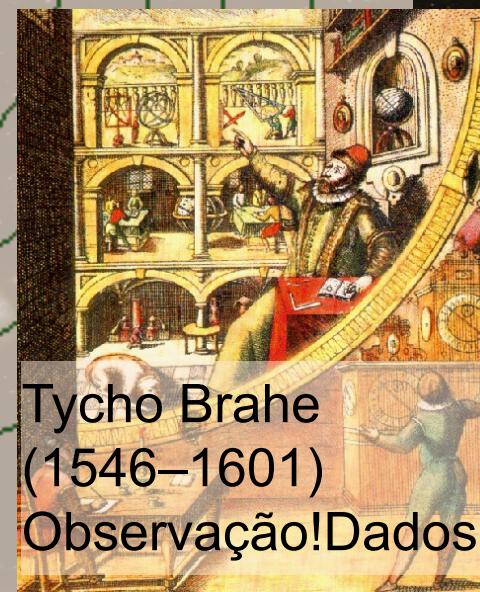
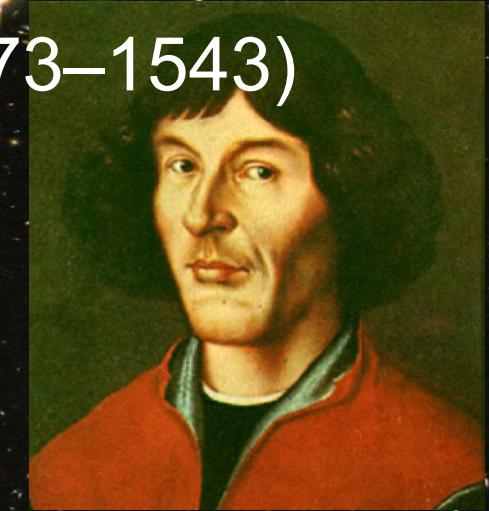
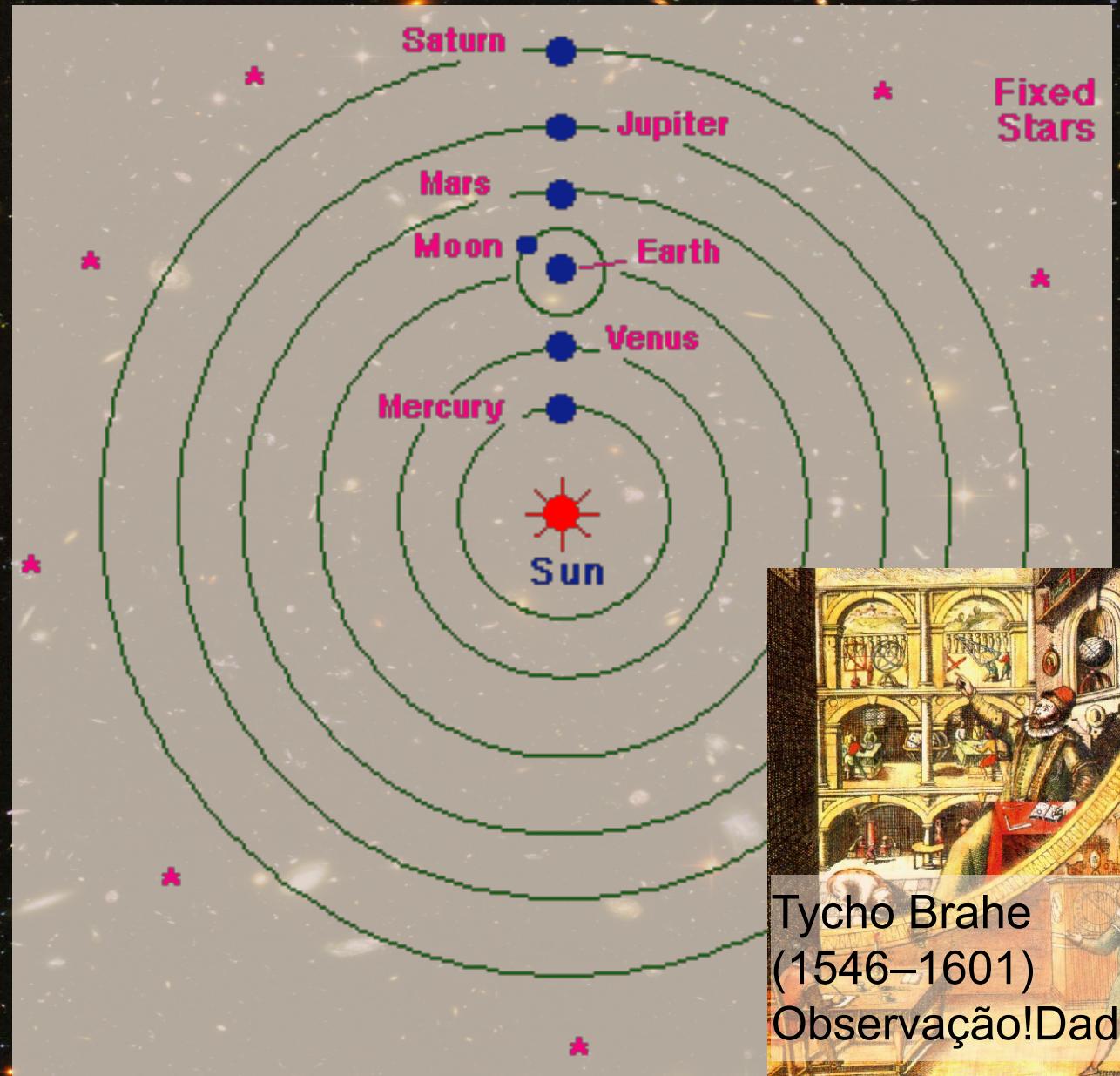
(\*)ideia de átomos tb. introduzida na Índia no séc. VI a.C.)



### An Explication of the Characters which are used in this Book.

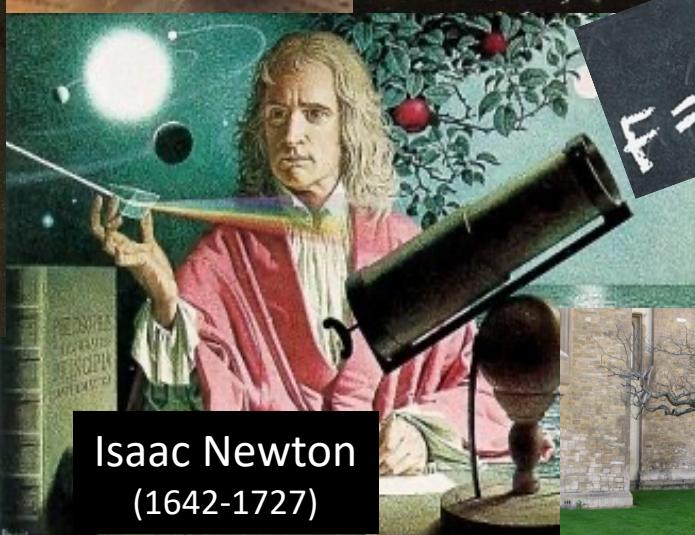
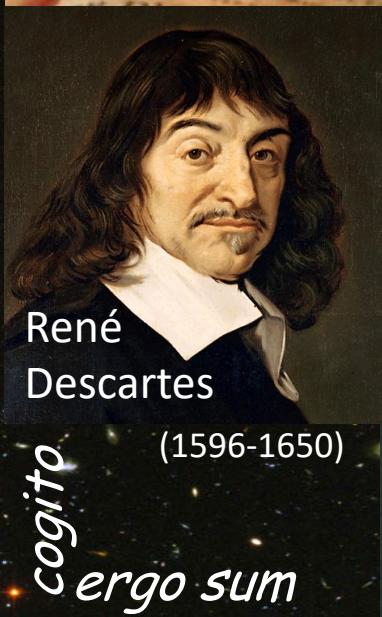
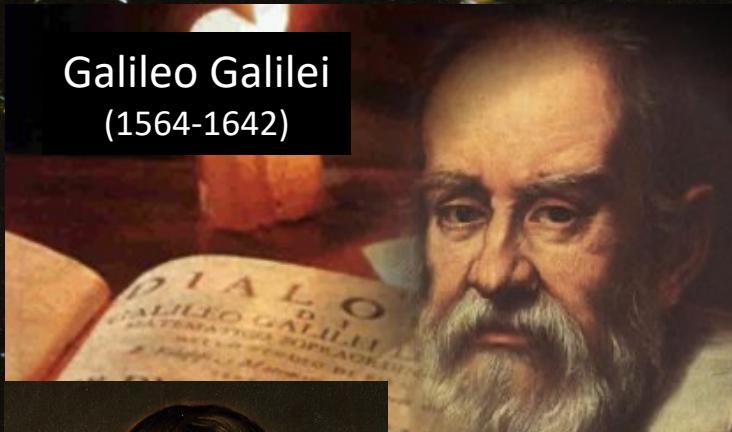
- |   |               |                              |
|---|---------------|------------------------------|
| ○ | Gold.         | A. F. <i>Aqua Fortis.</i>    |
| ▷ | Silver.       | A. R. <i>Aqua Regis.</i>     |
| ♂ | Iron.         | S. V. <i>Spirit of Wine.</i> |
| ♀ | Mercury.      | ⤒ Sublimate.                 |
| ♃ | Jupiter.      | ⤓ Precipitate.               |
| ♄ | Venus.        | ⤔ Amalgama.                  |
| ♅ | Lead.         | ▽ Water.                     |
| ♆ | Antimony.     | △ Fira.                      |
| ♇ | Sal armoniac. |                              |

# Uma REVOLUÇÃO! COPERNICUS (1473–1543)



Tycho Brahe  
(1546–1601)  
Observação! Dados!

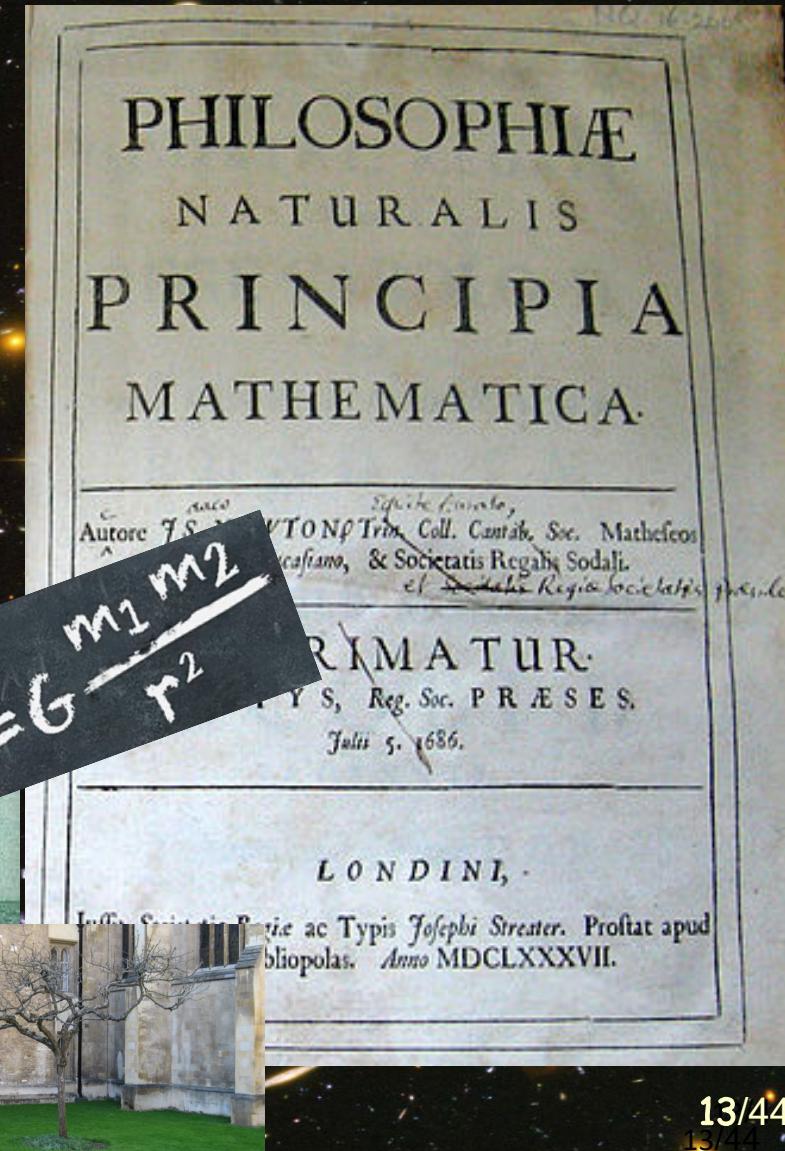
Sobre a revolução das  
órbitas celestiais



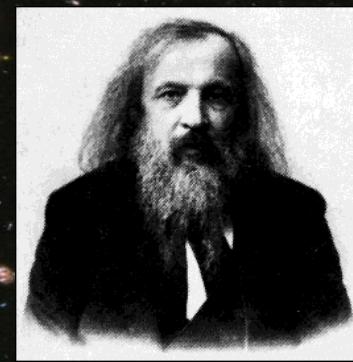
# Idade moderna, Europa: EXPERIMENTAÇÃO $\geq$ TEORIA!

## Física!:

Princípios  
Matemáticos  
da Filosofia  
da Natureza!



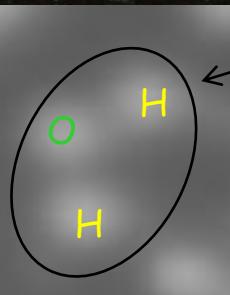
# A Estrutura da Matéria



Somos feitos de quê ?

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

Constituídos por elementos (átomos) como



Hidrogénio,  
Cálcio,  
**Ferro**,  
Carbono,  
Azoto,  
Oxigénio,  
Cloro,

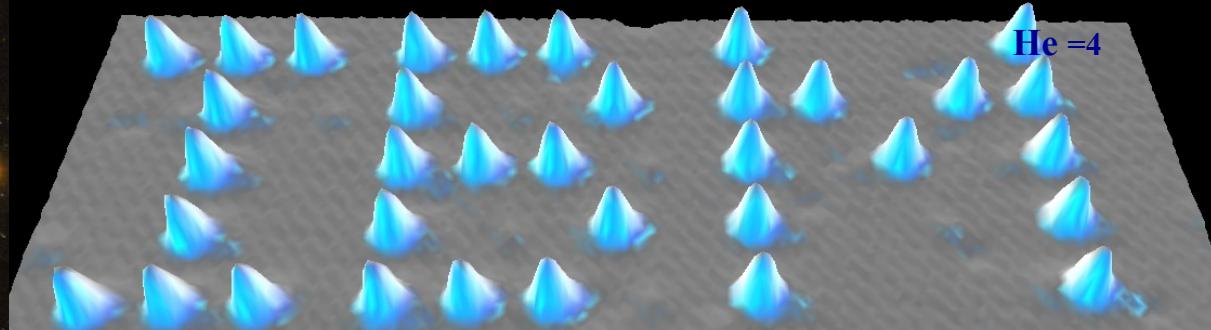
[Hélio],  
e outros 110  
elementos ...

1989: foto  
de átomos Xe

1999:  
foto de  
átomos  
de Fe

10 de julho  
2023

Reihen	Gruppe I.	Gruppe II.	Gruppe III.	Gruppe IV.	Gruppe V.	Gruppe VI.	Gruppe VII.	Gruppe VIII.
	$R^2O$	$RO$	$R^2O^3$	$RH^4$ $RO^2$	$RH^3$ $R^2O^5$	$RH^2$ $RO^3$	$RH$ $R^2O^7$	$RO^4$



7	$Ag = 108$	$Cd = 112$	$In = 113$	$Sn = 118$	$Sb = 122$	$Te = 125$	$I = 127$	
8	$Cs = 133$	$Ba = 137$	$?Di = 138$	$?Ce = 140$	-	-	-	
9	-	-	-	-	-	-	-	
10	-	-	$?Er = 178$	$?La = 180$	$Ta = 182$	$W = 184$	-	
11	( $Au = 199$ )	$Hg = 200$	$Tl = 204$	$Pb = 207$	$Bi = 208$	$U = 240$		$Os=195$ , $Ir=197$ , $Pt=198$ , $Au=199$
12	-	-	-	$Th = 231$	-	-	-	-

©1869 Dmitri Mendeleev

...DISTRIBUIÇÃO ELECTRÓNICA!

# O Átomo é feito de:

VAZIO

(99,999 999 999 9% do volume)

(núcleo x100)

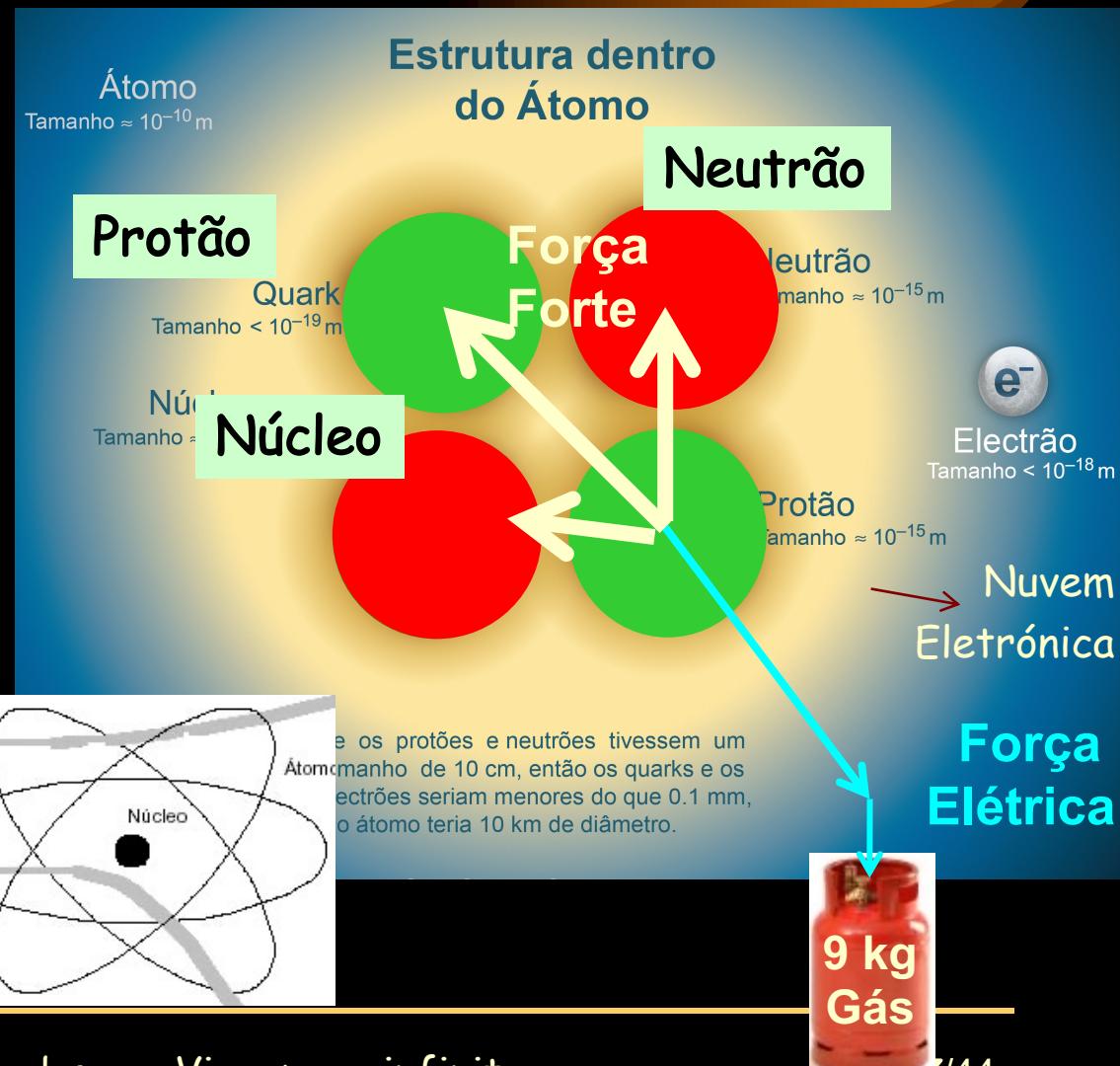
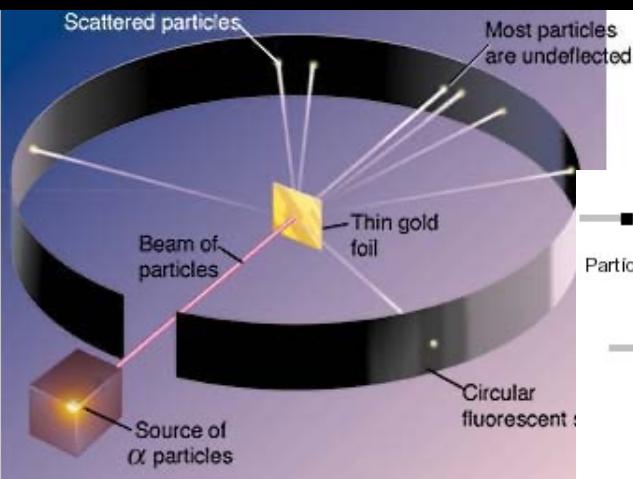
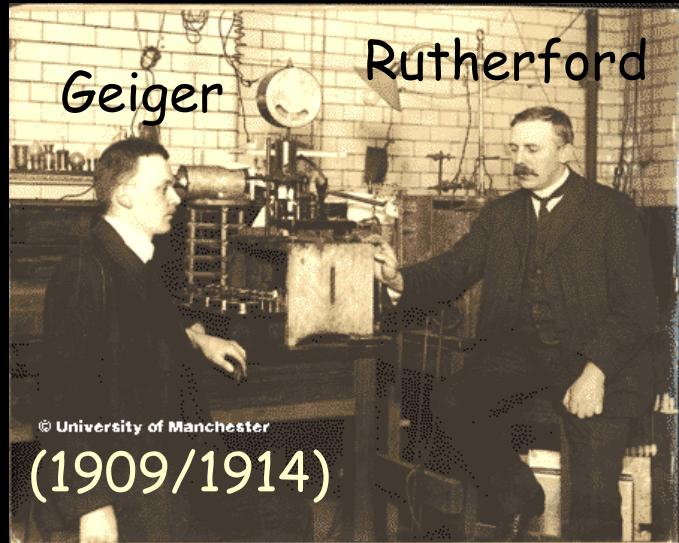
(raio médio órbita dos electrões)

# Uma questão de escala...



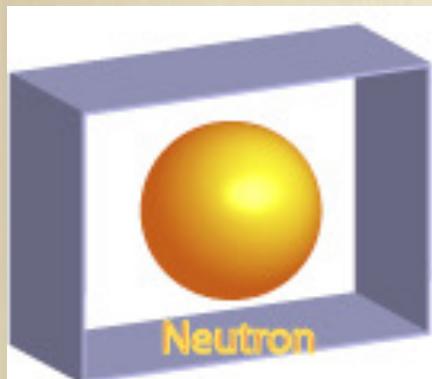
# E os Núcleos ?!

Núcleos rodeados por uma nuvem eletrónica!

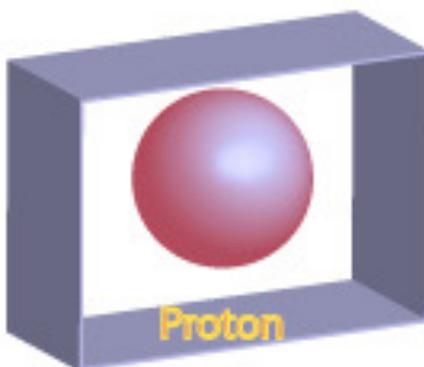


# PARTÍCULAS

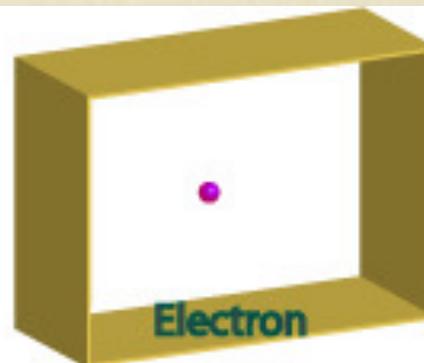
## Tipos de Partículas Elementares (1932)



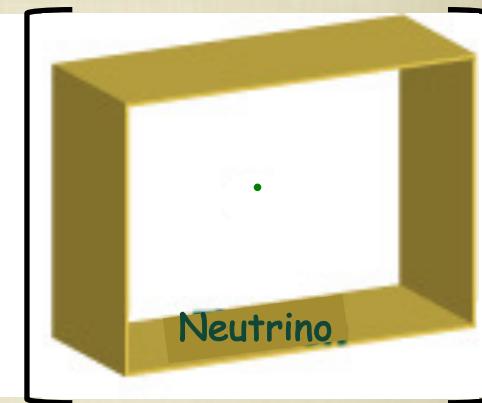
neutrão



protão



eletrão



[neutrino]

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

# PARTÍCULAS

Anos 1950's

Jardim  
Zoológico

(partículas com interação forte)

o "Zoo das Partículas"

Com novos aceleradores e detetores,  
tem mais de ~ 260 'partículas elementares'!

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

Piões

$K^+ K^- K^0$

$\eta'$

Eta-Prime

$\eta$

Kaões

$\varphi$

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

Rho

(todas instáveis)

Mesões

$\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^0, \Delta^-$

p, n  
protão, neutrão

Delta

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

Lambda (estranho!)

Sigma (estranho!)

$\Xi^0, \Xi^-$

Xi (muito estranho!)

(decaem até ao protão)

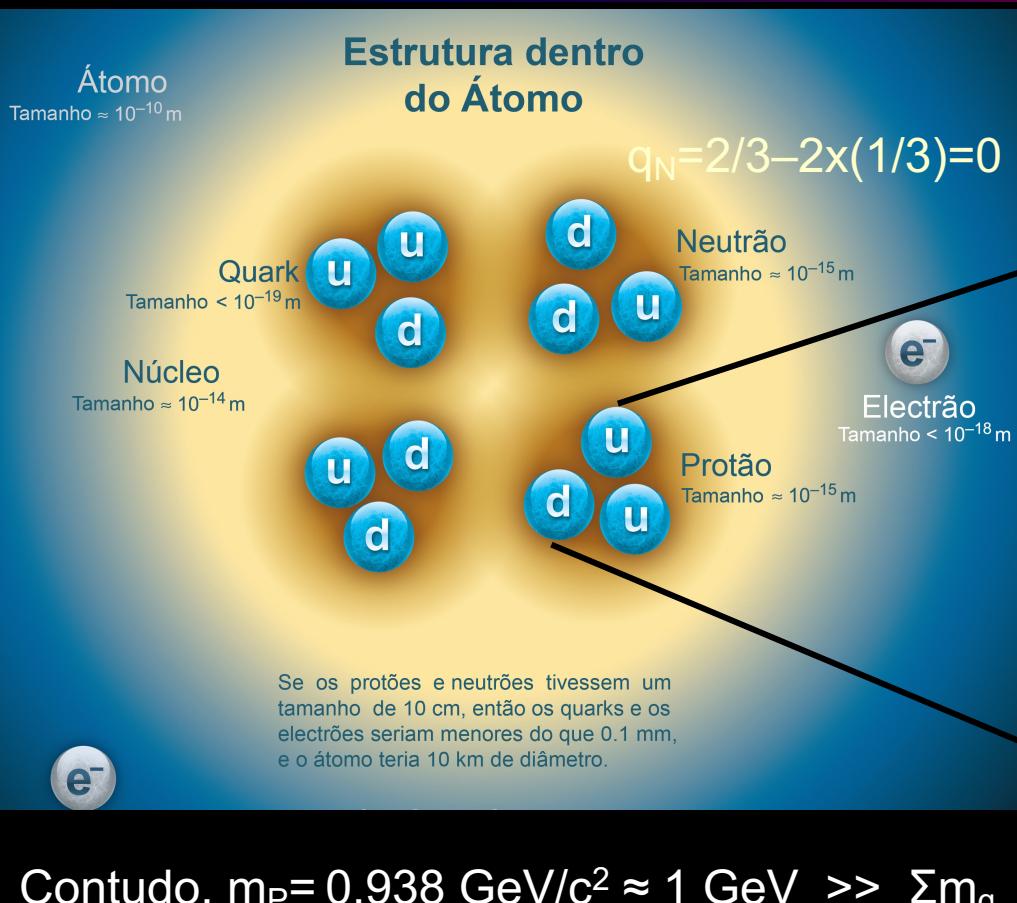
BARIÕES

HADRÕES

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

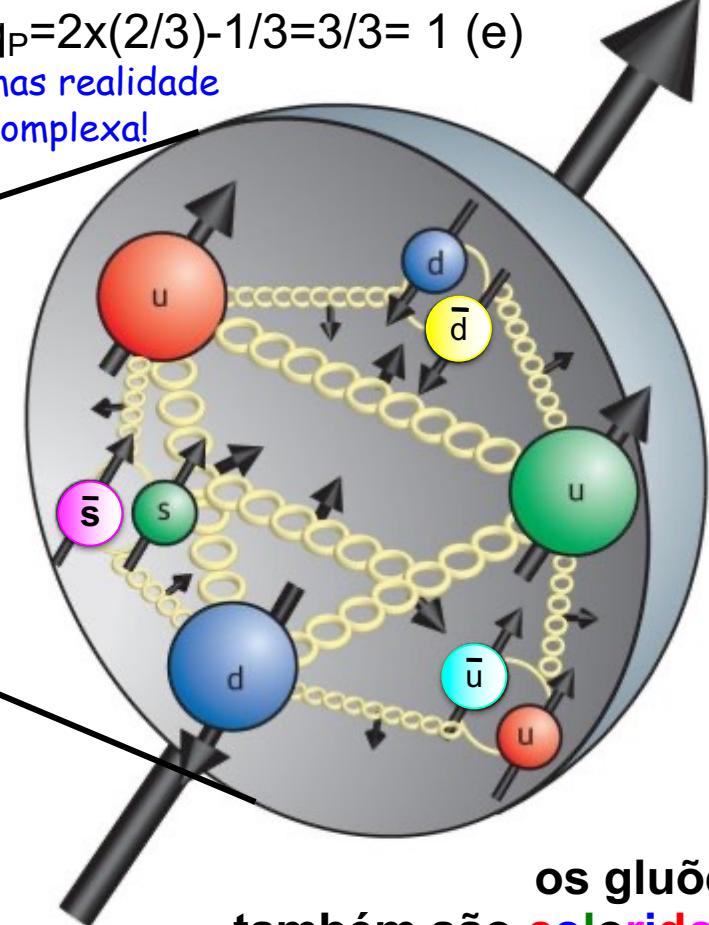
# Protões e neutrões feitos de Quarks Anti-Quarks e Gluões!

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



**PROTÃO = uud = incolor!**

$q_P = 2 \times (2/3) - 1/3 = 3/3 = 1 \text{ (e)}$   
mas realidade complexa!



# 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	$(0\text{--}2)\times 10^{-9}$	0	<b>u</b> up	0.002	2/3
$e$ electrão	0.000511	-1	<b>d</b> down	0.005	-1/3
$\nu_M$ neutrino* intermédio	$(0.009\text{--}2)\times 10^{-9}$	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	$(0.05\text{--}2)\times 10^{-9}$	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 protão. Em unidades SI, a carga eléctrica do protão é  $1.60\times 10^{-19}$  coulombs.

A unidade de Energia em física é o eV (electronvolt). Um eV é a energia que uma partícula de massa  $m$  adquire ao atravessar a diferença de potencial  $V$ . Se  $E = mc^2$ , temos que  $1 \text{ eV} = 1.60\times 10^{-19} \text{ J}$ . A massa do protão é 0.938 GeV.

## Neutrinos

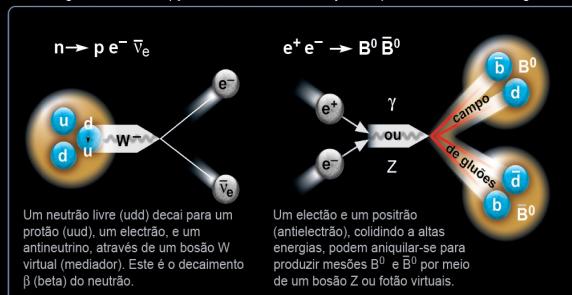
Os neutrinos são produzidos no Sol, supernovas, reactores nucleares, colisões em aceleradores, e muitos outros processos. Qualquer neutrino pode ser descrito como um de três estados de sabor de neutrinos:  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$ , ou  $\nu_\tau$ , de acordo com o tipo de lepto associado na sua produção. 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 matéri-antimateria e da evolução das estrelas e das estruturas das galáxias.

## Materia e Antimateria

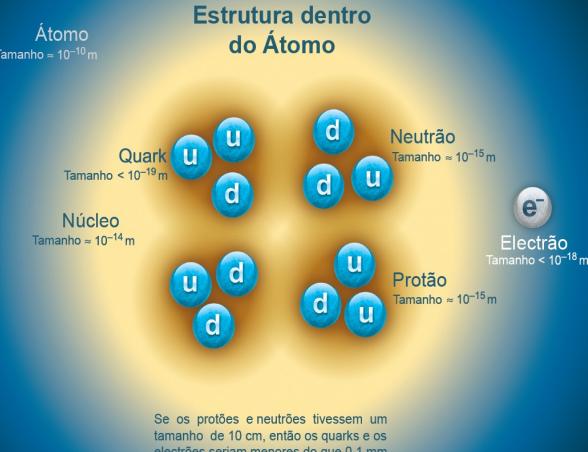
Para cada tipo de partícula existe o correspondente tipo de antipartícula, indicado com uma barra sobre o símbolo da partícula (excepto se se mostrar a carga + ou -). A partícula e a antipartícula têm a mesma massa e spin mas cargas eléctricas opostas. Alguns bosões electricamente neutros (por ex., 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

## Processos com Partículas

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



## Estrutura dentro do Átomo



## BOSÕES

Electrofraca		
	spin = 1	
$\gamma$ fotão	0	0
$W^-$	80.39	1
$W^+$ bosões $W$	80.39	+1
$Z$ bosão $Z$	91.188	0

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

Forte (cor)		
	spin = 1	
$g$ gluão	0	0
$H$ Higgs	126	0

Bosão de Higgs  
O bosão 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 gluões 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 a cor que vemos. As partículas carregadas interagem trocando gluões, que são partículas que só existem num trocando trocando

estão confinados em partículas  
confinamento (ligação) resulta das  
partículas "coloridas". Quando as  
partículas "coloridas" (quarks e gluões) 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 hadróes, que são as partículas observáveis.

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

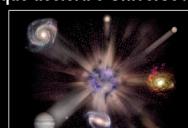
Saiba mais em [ParticleAdventure.org](http://ParticleAdventure.org)



## Mistérios por resolver

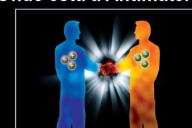
Motivados por novas questões na nossa compreensão física do Universo, os físicos de partículas seguem caminhos diferentes na direcção de novas descobertas maravilhosas. As experiências poderão vir a encontrar dimensões extra de espaço, buracos negros microscópicos, ou sinais da teoria das cordas.

### Porque acelera o Universo?



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

### Onde está a Antimateria?



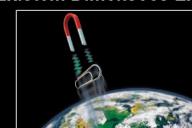
Materia e antimateria terão sido criadas em iguais quantidades no Big Bang. Porque é que agora vemos só matéria, à exceção de quantidades diminutas de antimateria criadas em laboratório ou nos Raios Cósmicos?

### 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 bizarriamente intensidade da força gravitativa, quando comparada com as outras três forças fundamentais da Natureza (um iman pode levantar um clipe, sobrepondo-se à gravidade exercida por todo o planeta Terra).

# Unidades de massa:

$$1 \text{ GeV}/c^2 = 1.78 \times 10^{-27} \text{ kg} \approx m(\text{protão}) = 0.938 \text{ GeV}/c^2$$

## FERMIÓES

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

Sobre as unidades de massa: Equação de Einstein: **E = mc<sup>2</sup>**

(massa m em kg, energia E em J (joule), c = 3x10<sup>8</sup> m/s)

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<sup>2</sup>**, usamos para unidade de massa **J/c<sup>2</sup>** ou

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

$$\Leftrightarrow 1 \text{ GeV}/c^2 = (1,6 \times 10^{-19} / 9 \times 10^{16}) \text{ kg} = 1,78 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

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

# O Modelo Padrão (MP) – Matéria:



$$1 \text{ GeV}/c^2 = 1.78 \times 10^{-27} \text{ kg} \approx m(\text{protão}) = 0.938 \text{ GeV}/c^2$$

## FERMIÓES

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

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

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 Interacções

Propriedade	Interacção Gravítica	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, 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



Gravítica (Peso)

Força Fraca  
(Radioactividade)

Electromagnética  
(Corrente eléctrica,  
luz, ímans)

Força Forte  
(Coesão dos  
Núcleos  
Atómicos)

<Força Eletrofraca>

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

+bosão de Higgs

mas note-se:...muitas interações incomprendidas! (Relações Humanas, etc.)

# Interações: Troca de Partículas!

## BOSÕES

### 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

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

### Forte (cor)

spin = 1

Nome	Massa GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica
$g$ gluão	0	0

### Bosão de Higgs spin = 0

Nome	Massa GeV/c <sup>2</sup>	Carga Eléctrica
$H$ Higgs	126	0

# Bosão de Higgs => CAMPO DE HIGGS!!!

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

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

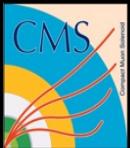
Um bosão de Higgs.



O Higgs já descobriu a Experiência Atlas, mas este é o Prof. Higgs...não o bosão de Higgs.

# Bosão de Higgs => CAMPO DE HIGGS!!!

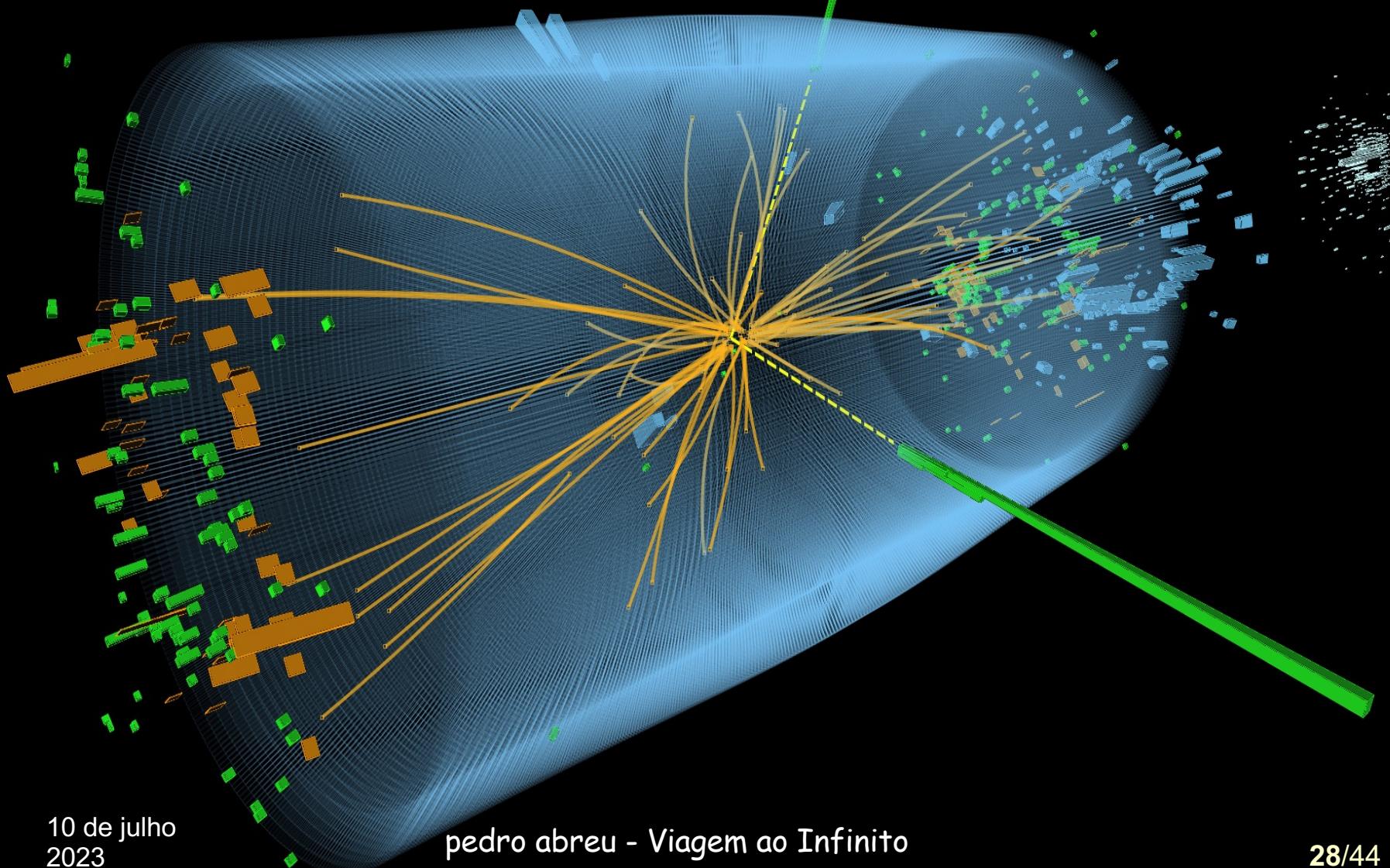




CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT  
Run/Event: 194108 / 564224000

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

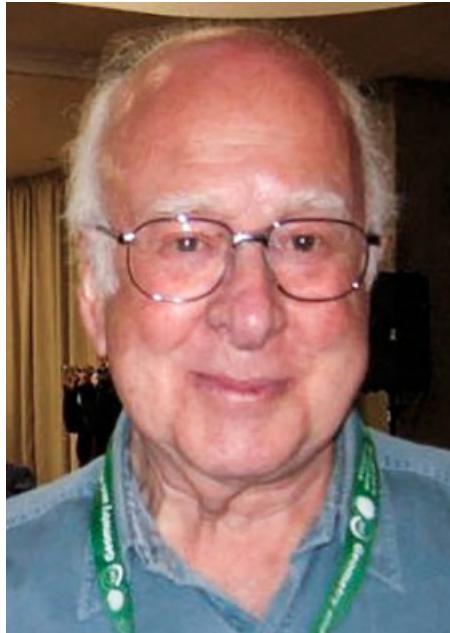
(possível decaimento do bosão H em 2 fotões)



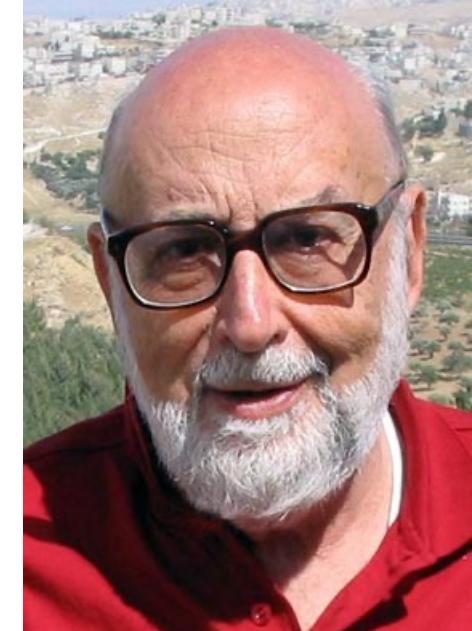
# A Descoberta do bosão de Higgs... ...premiada com o Prémio Nobel 2013:



**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

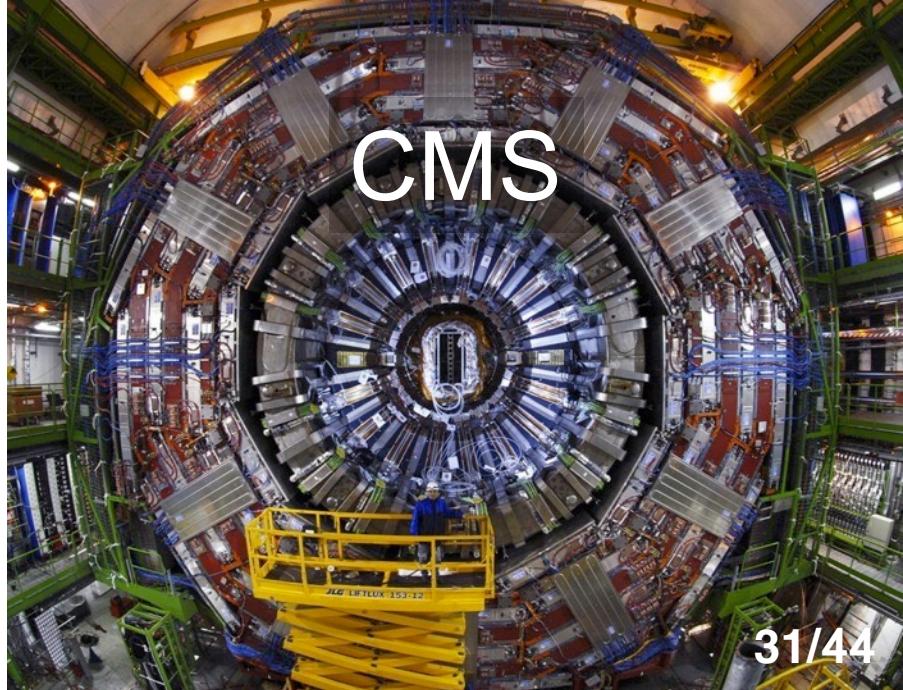
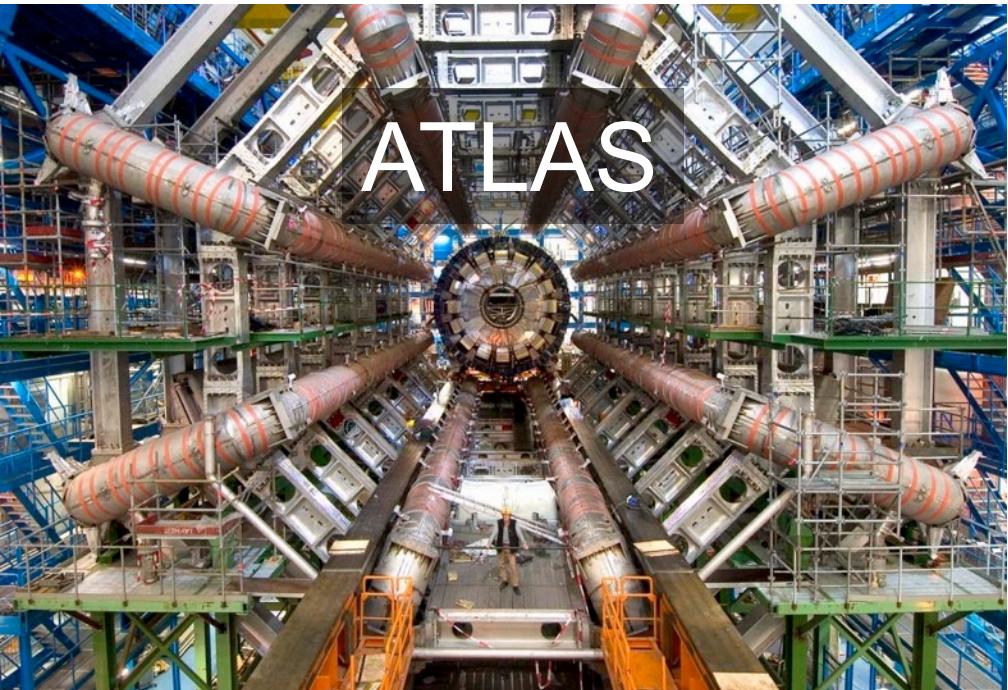
By Krisztina Holly

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.

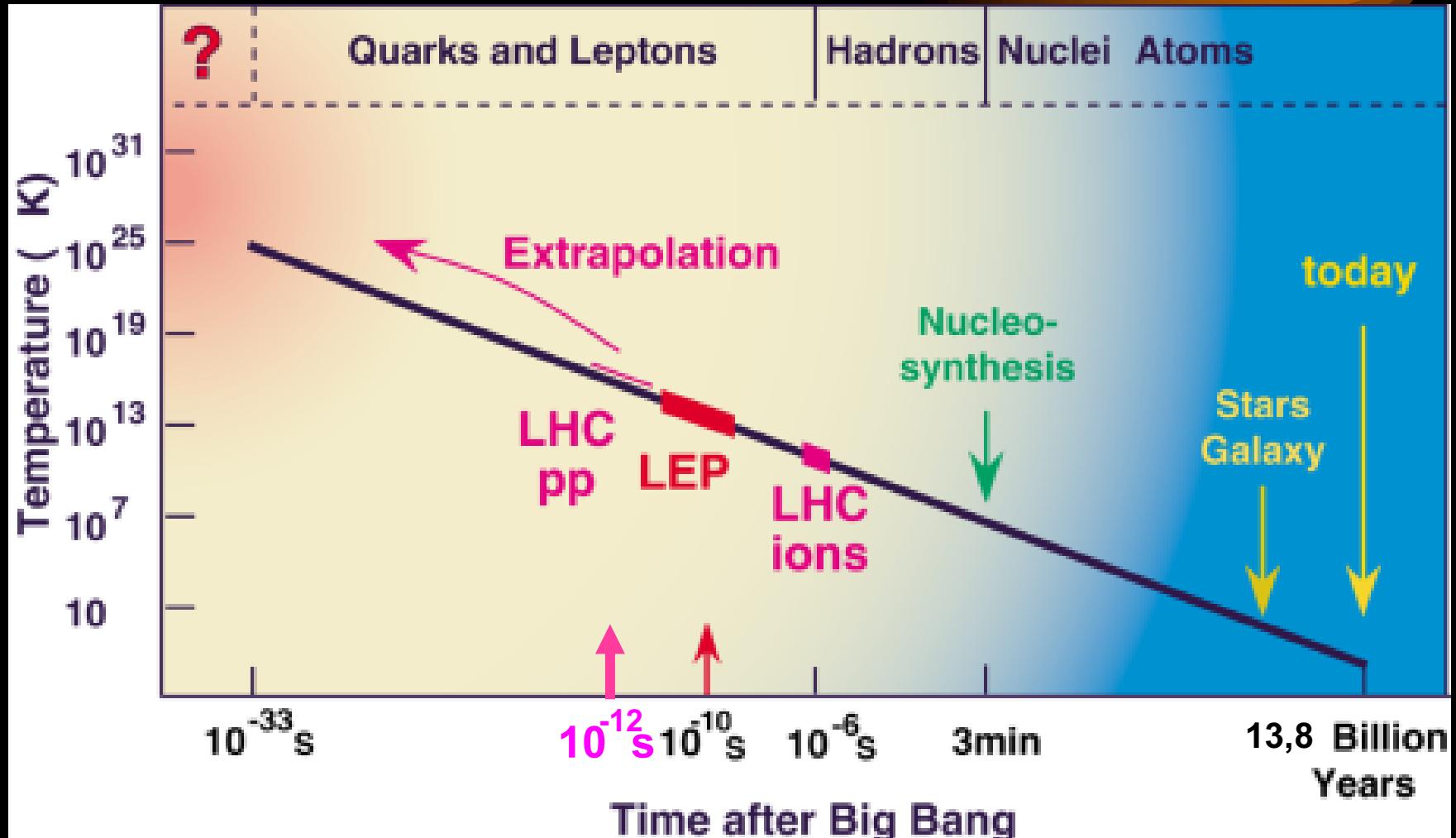
# Acelerador LHC



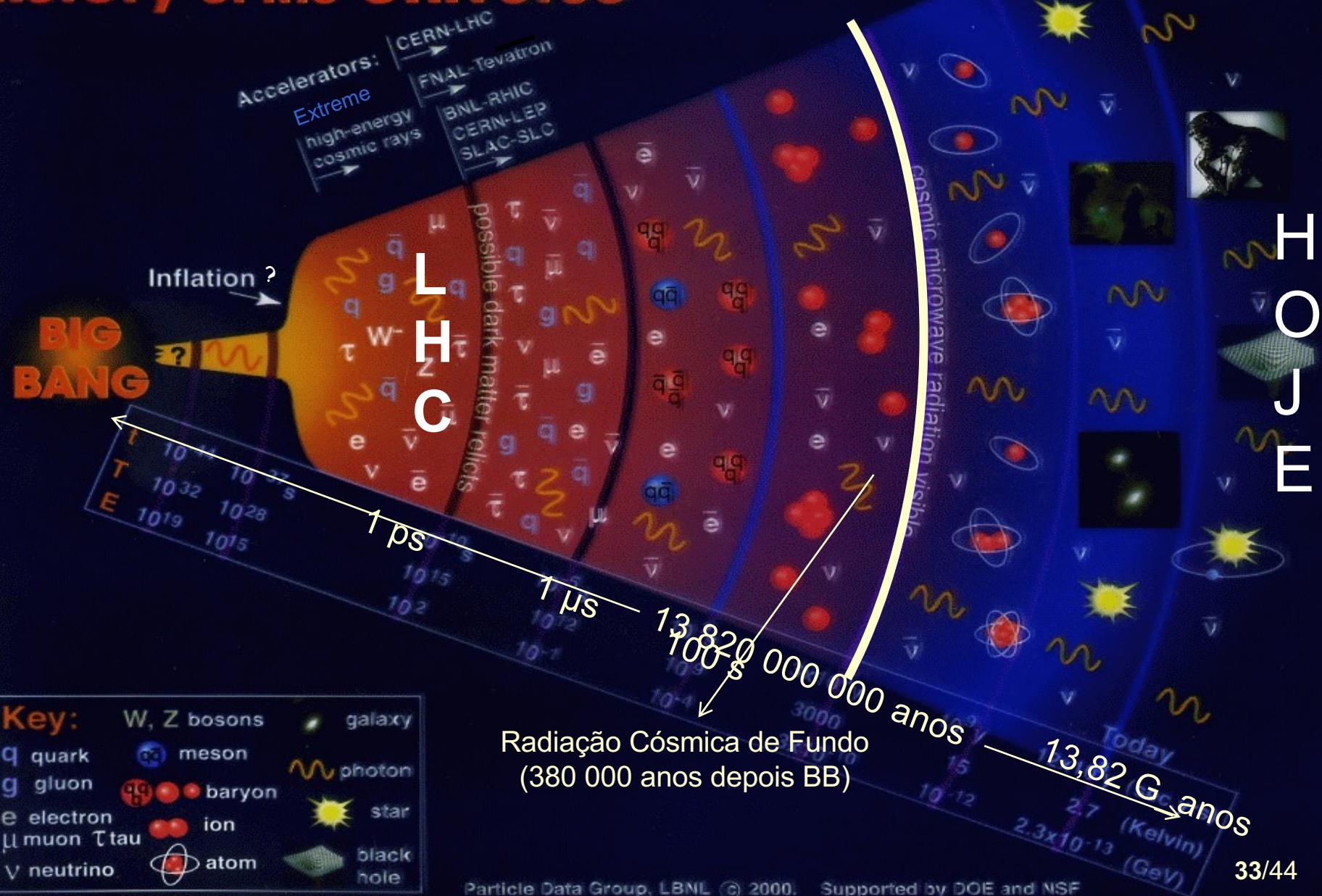
Detectores LHC envolvidos na descoberta do b.Higgs



# Para o início do Universo...

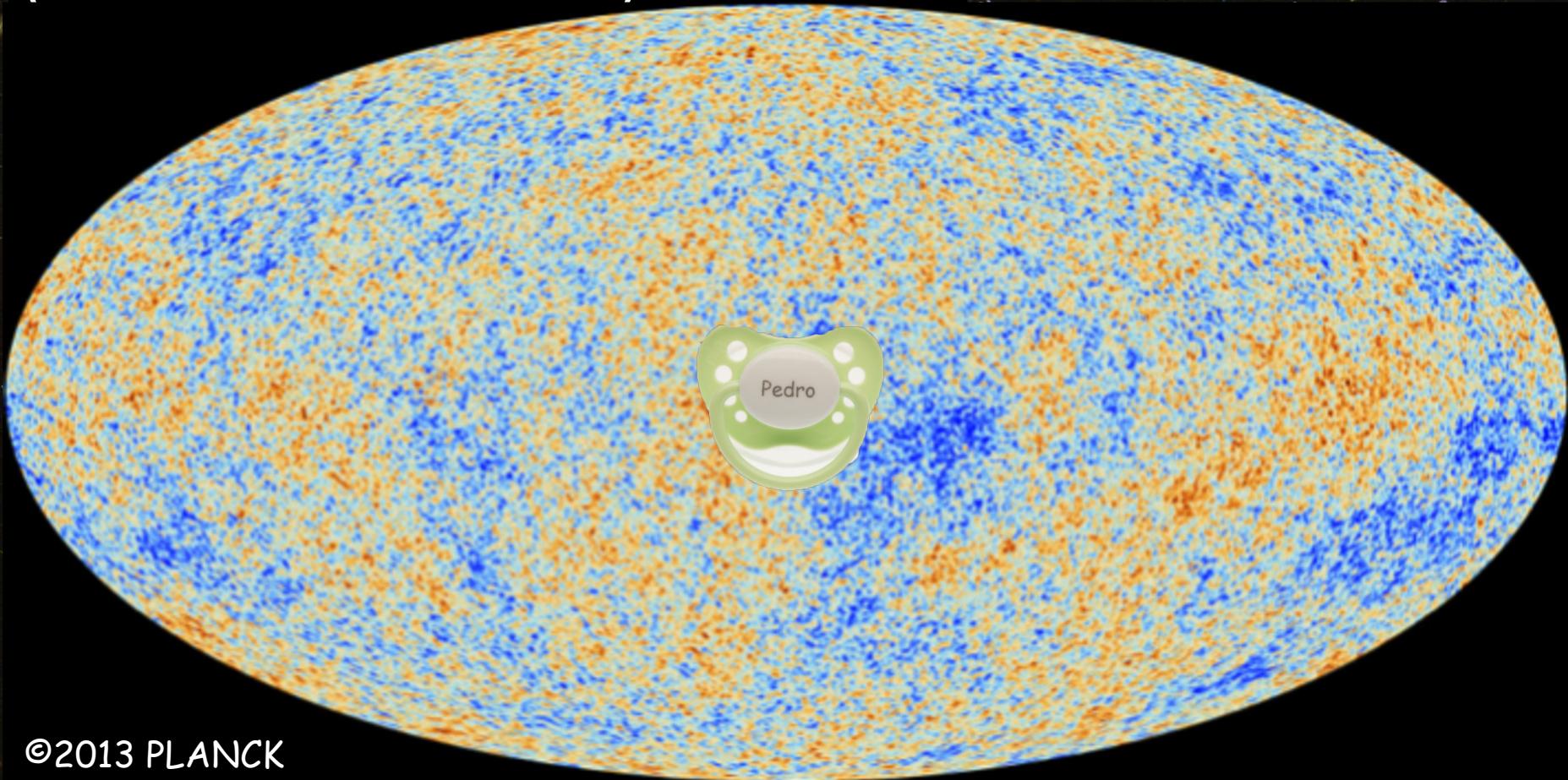


# History of the Universe



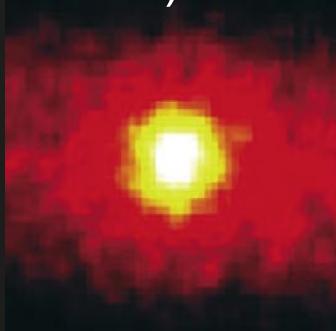
# A Radiação Cósmica de Fundo do Universo (hoje)

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



©2013 PLANCK

(Sol em ) neutrinos



Raios Cósmicos de Energia Extrema

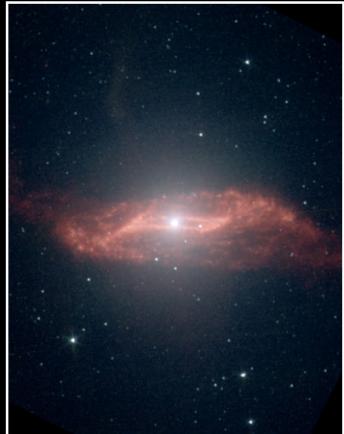


# O UNIVERSO INVISÍVEL

Ótico



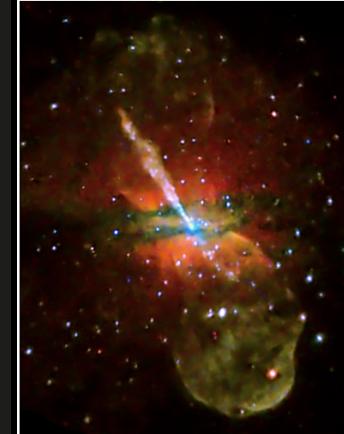
InfraVerm.



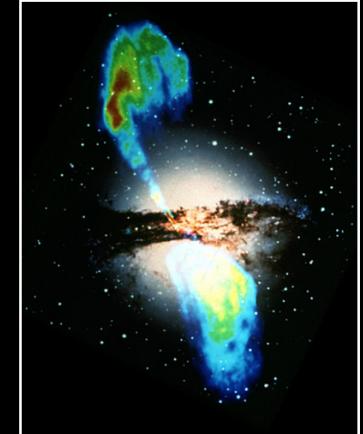
UltraVioleta



Raios-X



Ondas Rádio



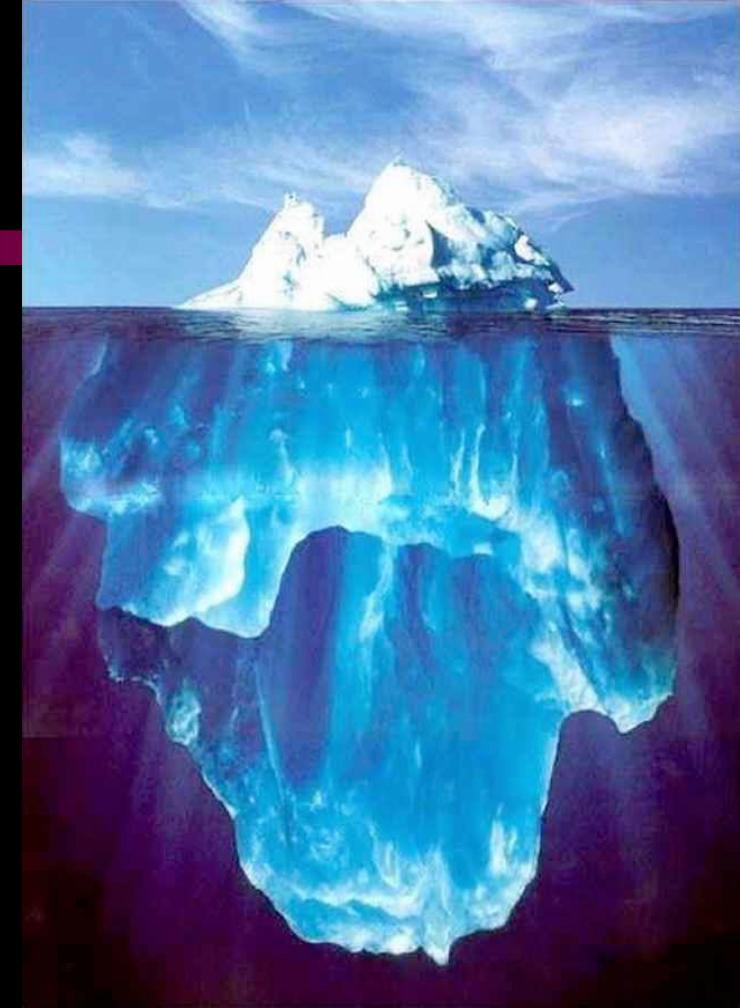
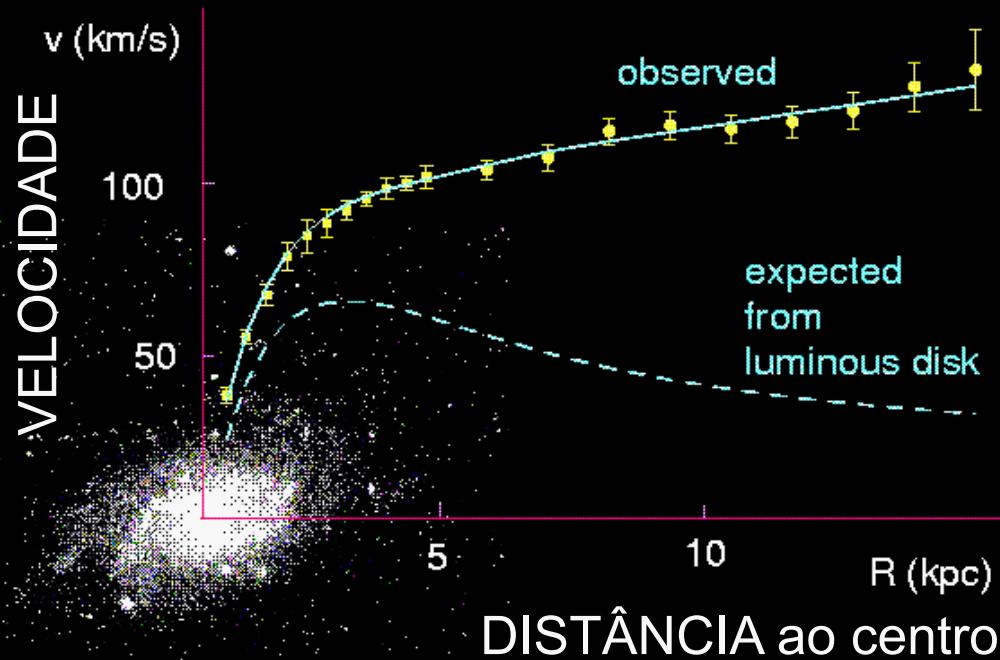
©2008 Ángel R. López-Sánchez

©2011 Jorge Dias de Deus

pedro abreu - Viagem ao infinito

©2011 Sofia Andringa

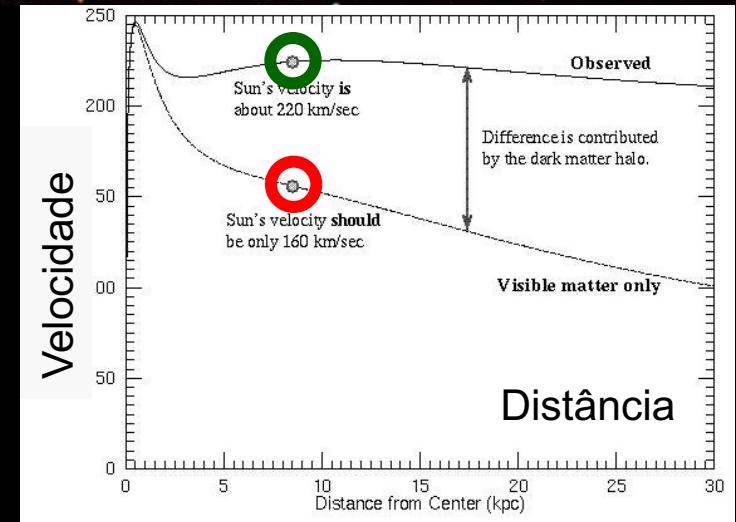
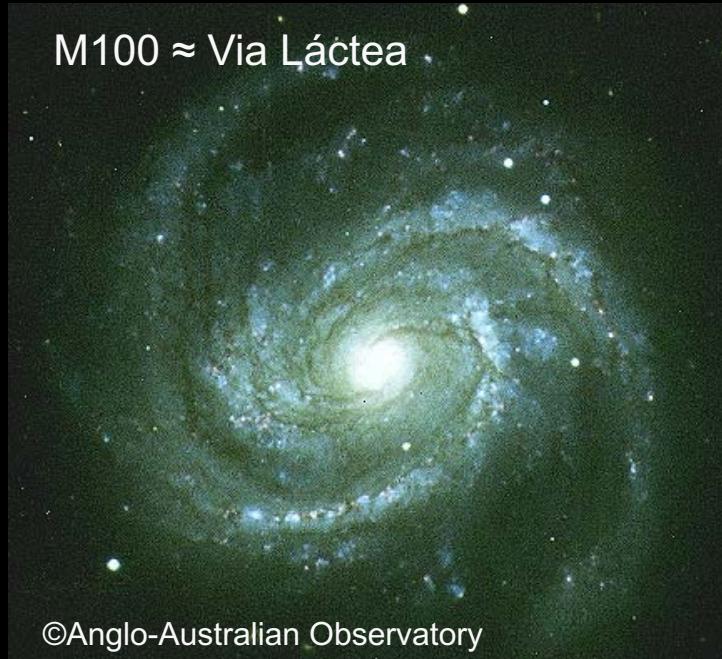
# O Problema da Matéria Escura



©A.De Angelis

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

# Matéria Escura presente na nossa própria Galáxia!



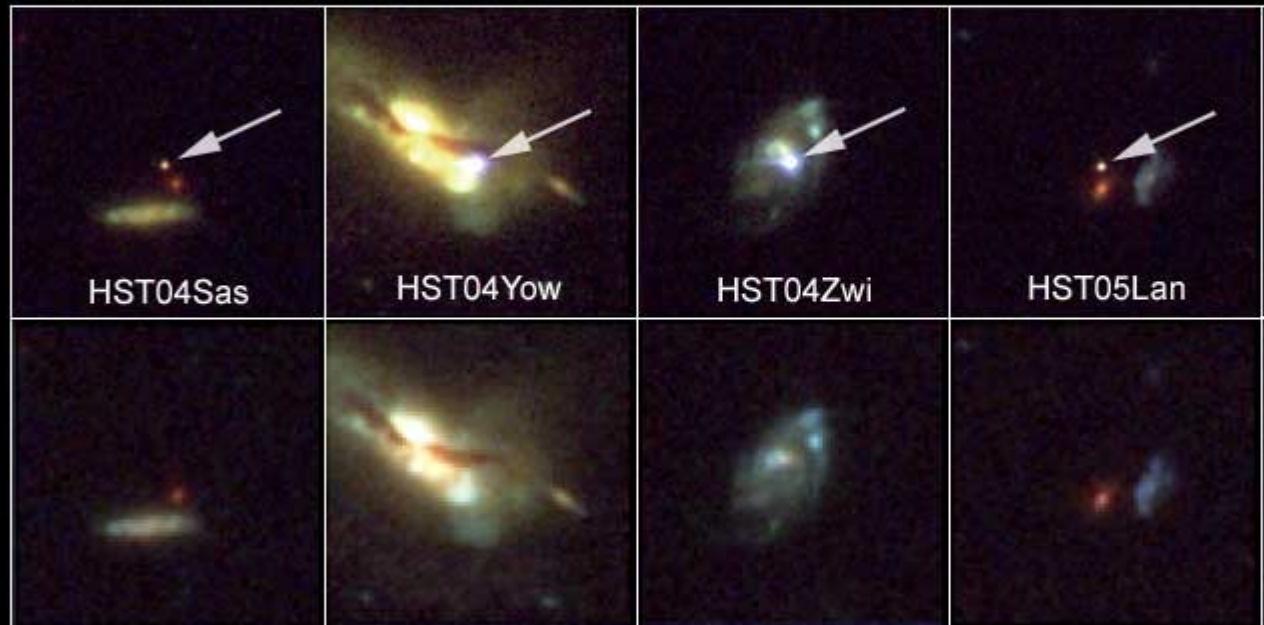
- Distribuída na Galáxia, não agrupada!
- Nenhuma forma de matéria conhecida!

# O Problema da ‘Energia Escura’

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

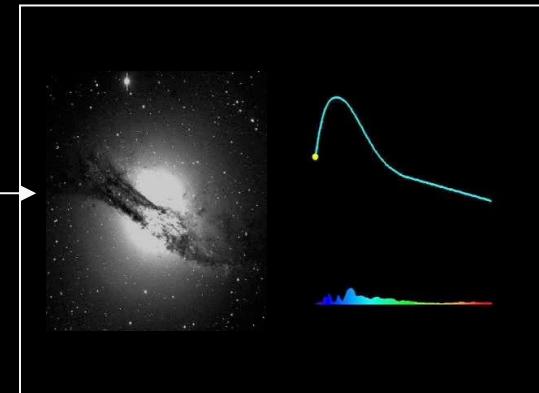
Esperavem que a taxa de expansão diminuisse desde o Big-Bang.

Host Galaxies of Distant Supernovae Type Ia



NASA, ESA, and A. Riess (STScI)

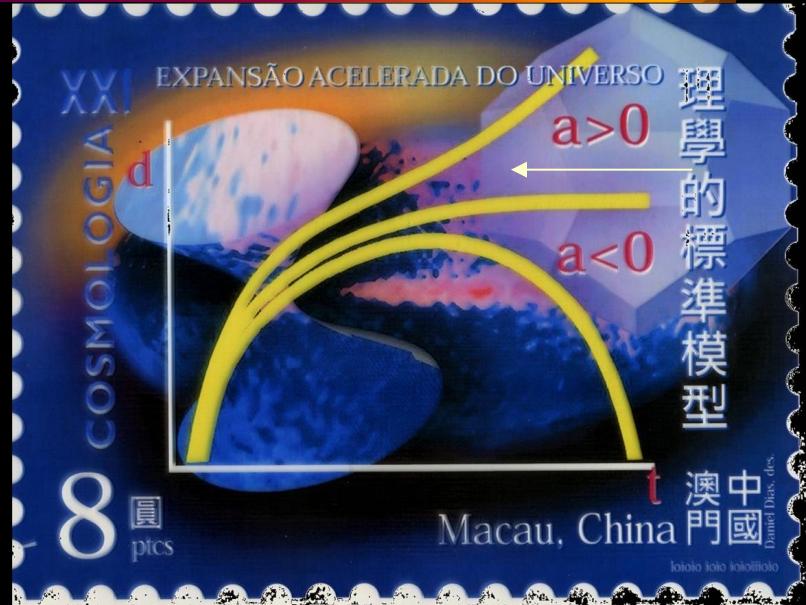
HST • ACS/WFC



STScI-PRC06-52

# Oops...não está a diminuir!

- A Expansão do Universo está acelerando!!!
- Algo se está a sobrepor à gravidade
- Cientistas chamam-lhe ‘Energia Escura’



# De que é que feito o Universo?!



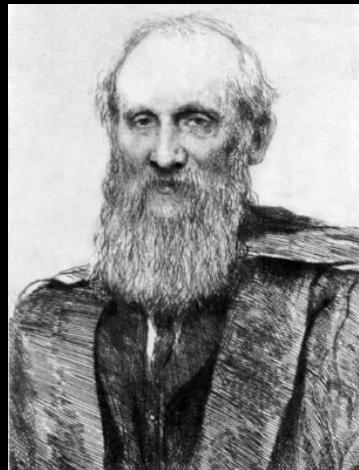
- Energia Escura
- Matéria Escura
- Matéria Ordinária

©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 6<sup>a</sup> 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 bosão 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 são mesmo elementares?

**PORQUE É QUE O UNIVERSO É TÃO SIMPÁTICO PARA A VIDA?!!**

# 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!"*