

Viagem ao Infinito



Um caminho para

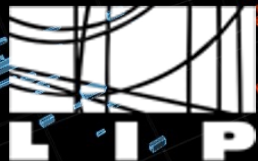
A nossa compreensão da estrutura da matéria

Um caminho para

A nossa INcompreensão da estrutura do universo

Pedro Abreu
LIP, IST

OCJF 2022,
LIP - Lisboa
21.07.2022



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?

Porque é que o Universo é Escuro?

O que são aquelas bolinhas luminosas?!



Estrelas?!

Porque é que o Universo é Escuro?

O que são aquelas bolinhas luminosas?!

Estrelas E
galáxias!

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

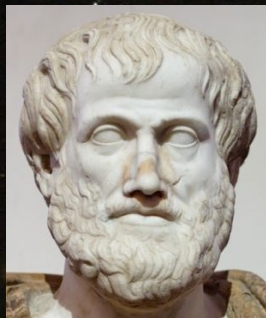
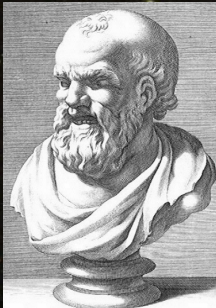
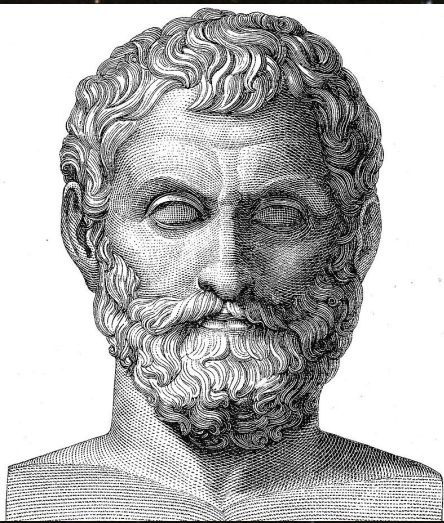


DE QUE É QUE SOMOS FEITOS?!

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.)

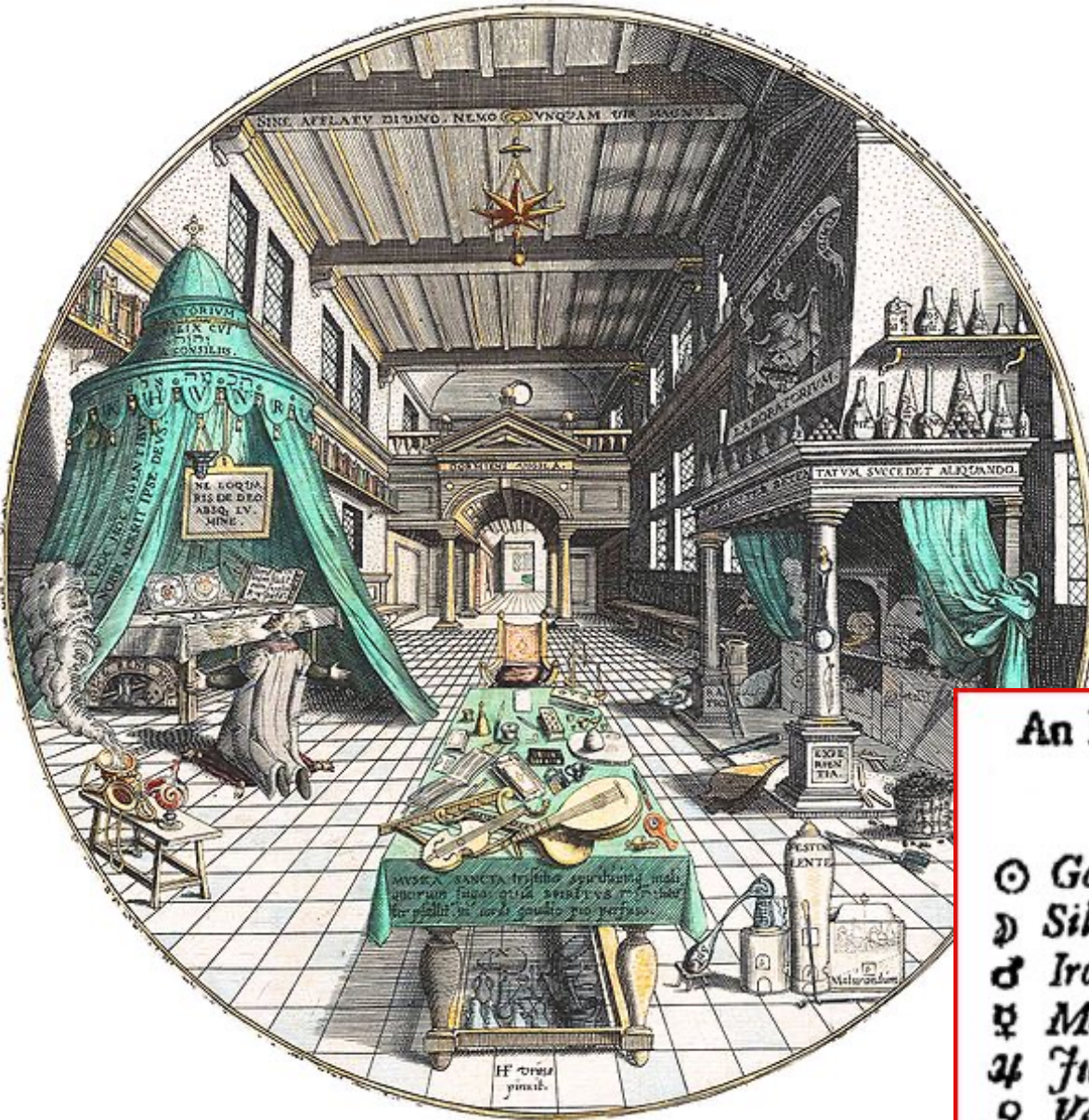


(*)ideia de átomos tb. introduzida na Índia no séc. VI a.C.)

Idade média, Europa:

EXPERIMENTAÇÃO!

Laboratório de Alquimista



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

☉ Gold.
♁ Silver.
♂ Iron.
☿ Mercury.
♃ Jupiter.
♀ Venus.
♁ Lead.
♂ Antimony.
✱ Sal armoniac.

A. F. *Aqua Fortis.*
A. R. *Aqua Regis.*
S. V. *Spirit of Wine.*
☿ Sublimate,
☿ Precipitate.
āāā *Amalgama.*
▽ *Water.*
△ *Fire.*

Idade moderna, Europa: EXPERIMENTAÇÃO $\approx$ TEORIA!



Física!:

Princípios
Matemáticos
da Filosofia
da Natureza!

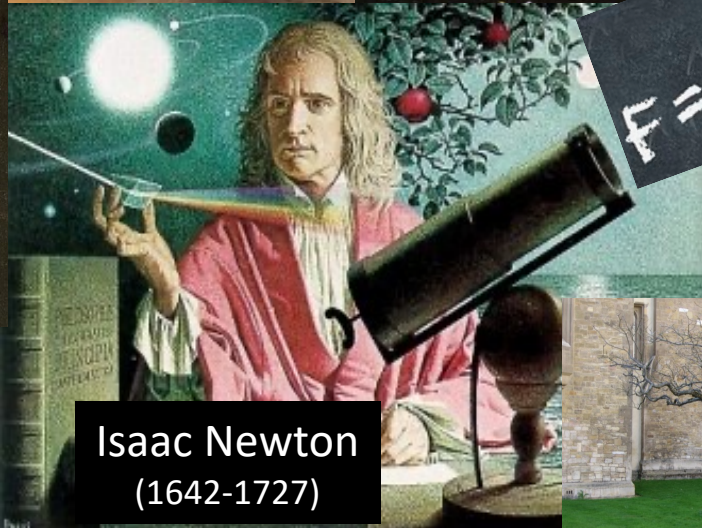
Galileo Galilei
(1564-1642)



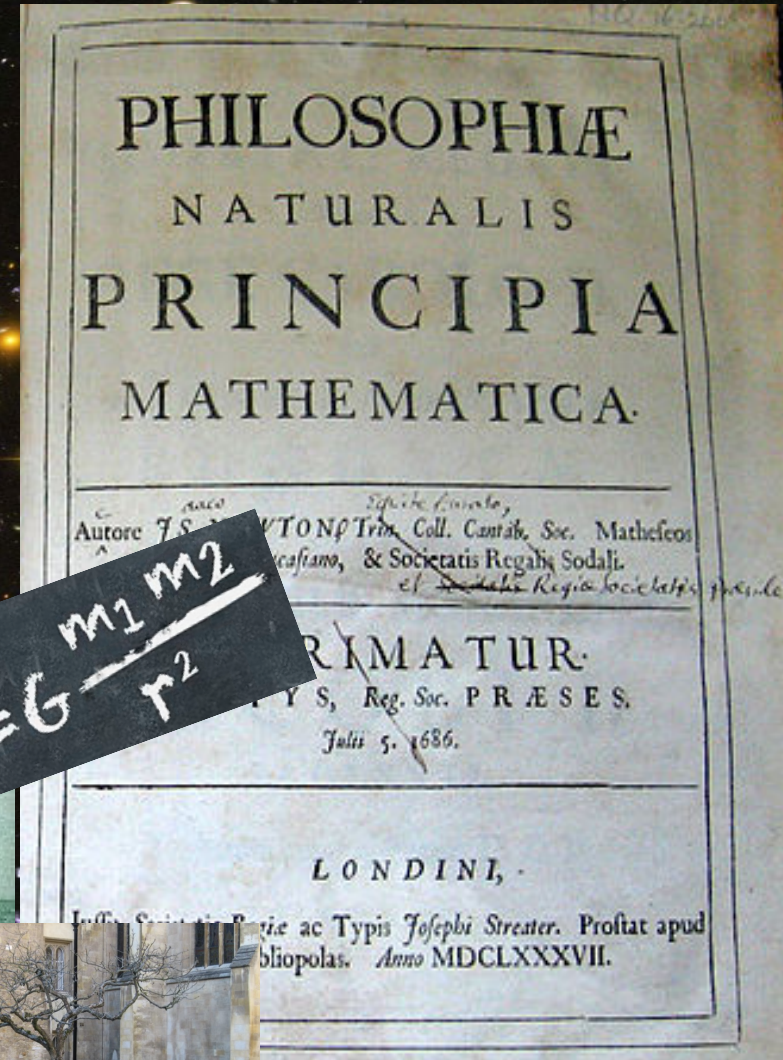
René
Descartes

(1596-1650)

*cogito
ergo sum*



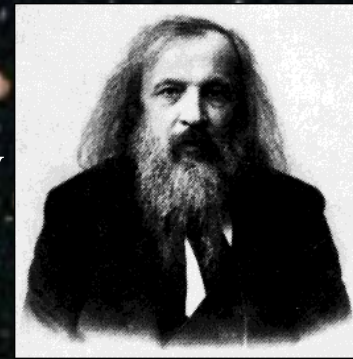
Isaac Newton
(1642-1727)



$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

A Estrutura da Matéria

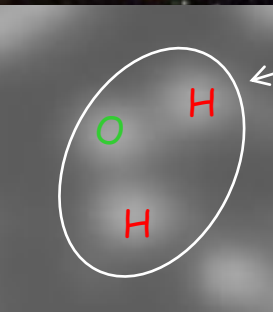
©Dmitri Mendeleev



Somos feitos de quê ?

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

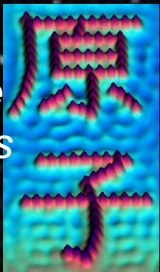
Constituídos por elementos (átomos) como



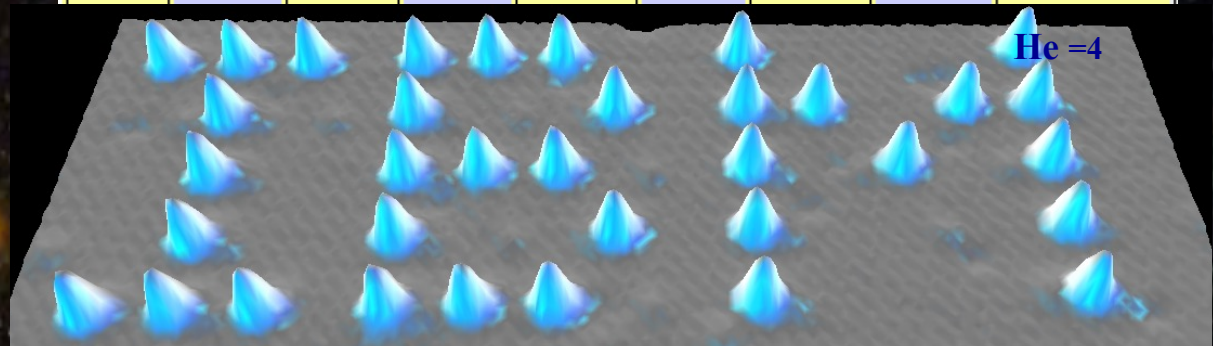
Hidrogénio,
Cálcio,
Ferro,
Carbono,
Azoto,
Oxigénio,
Cloro,
[Hélio],
e outros 110
elementos ...

1989: foto
de átomos Xe

1999:
foto de
átomos
de Fe



	Gruppe I.	Gruppe II.	Gruppe III.	Gruppe IV.	Gruppe V.	Gruppe VI.	Gruppe VII.	Gruppe VIII.
Reihen	R ² O	RO	R ² O ³	RH ⁴ RO ²	RH ³ R ² O ⁵	RH ² RO ³	RH R ² O 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	-	Os = 195, Ir = 197, Pt = 198, Au = 199
11	(Au = 199)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208	-	-	-
12	-	-	-	Th = 231	-	U = 240	-	- - -

...CONFIGURAÇÃO ELECTRÓNICA!

4 de março
2022

pedro abreu - à descoberta das partículas

15/52

O Átomo é feito de:

VAZIO

(99,999 999 999 9% do volume)

(núcleo x100)

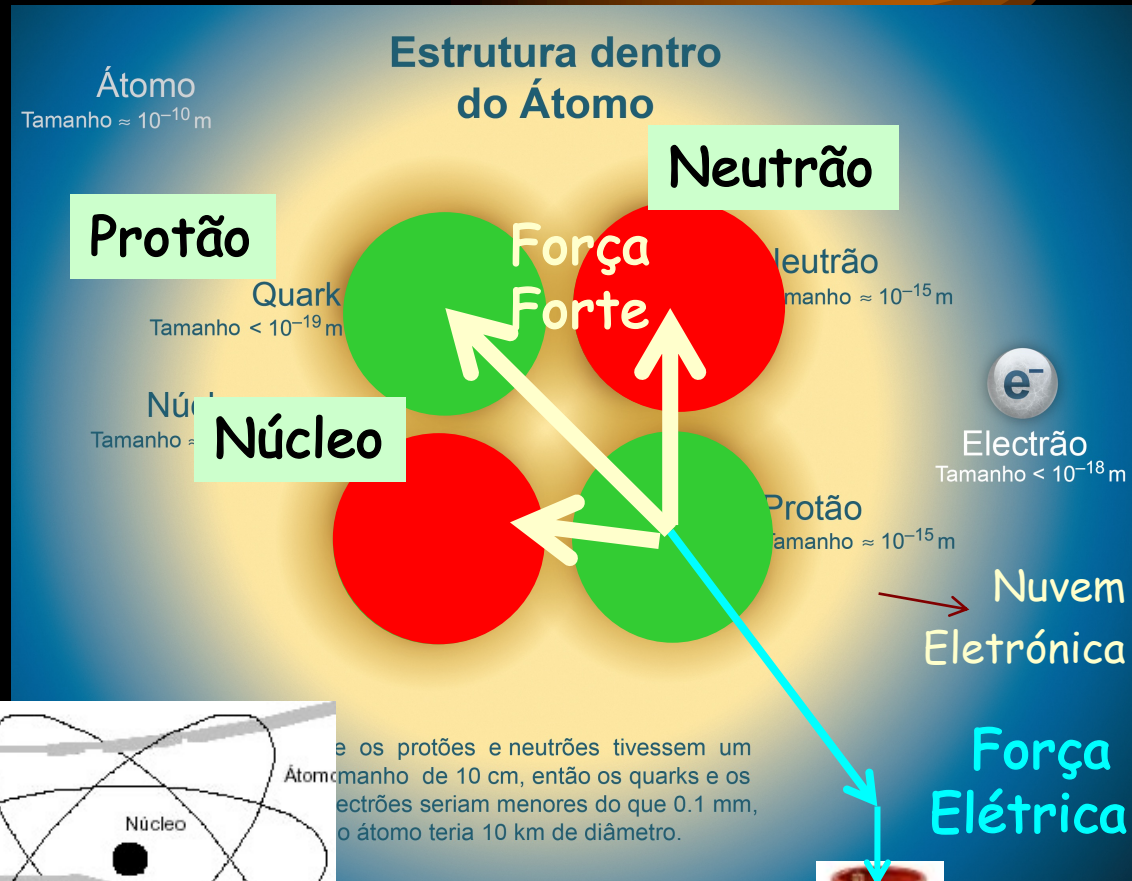
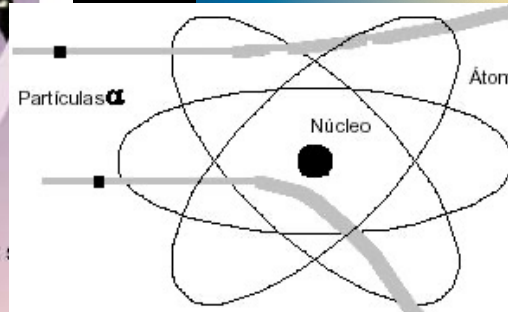
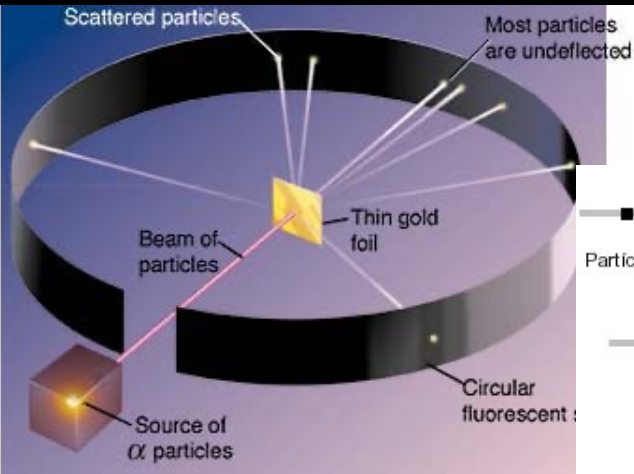
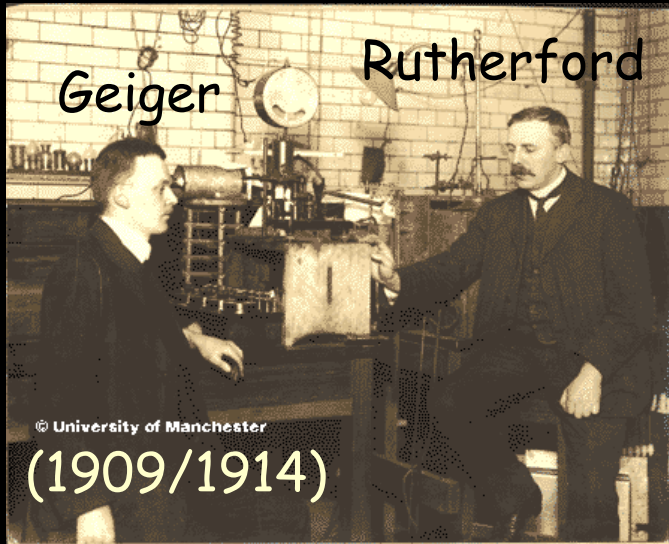
(raio médio órbita dos electrões)

Uma questão de escala...



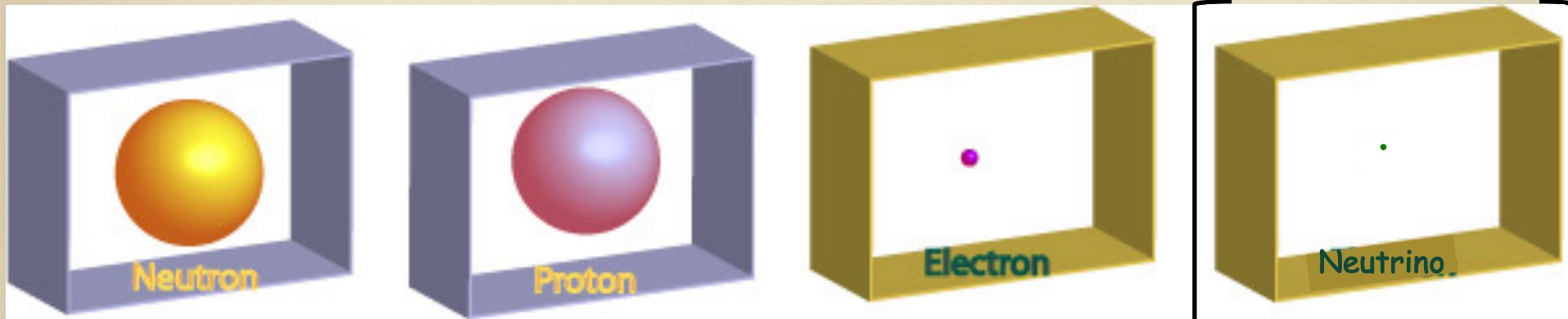
E os Núcleos ?!

Núcleos rodeados por uma nuvem eletrónica!



PARTÍCULAS

Espectro de Partículas Elementares (1932)



neutrão

protão

eletrão

[neutrino]

Simples, fácil de fixar
Ainda ensinado nas Escolas

PARTÍCULAS

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

**Jardim
Zoológico**

Anos 1950's

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

HADRÕES

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

Pions

$K^+ K^- K^0$

η'

Eta-Prime

η

Kaons

ϕ

Eta

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

Rho

Phi

(todas instáveis)

MESÕES

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

Delta

Λ^0

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

Lambda (estranho!)

Sigma (estranho!)

Ξ^0, Ξ^-

Xi (muito estranho!)

(decaem até ao protão)

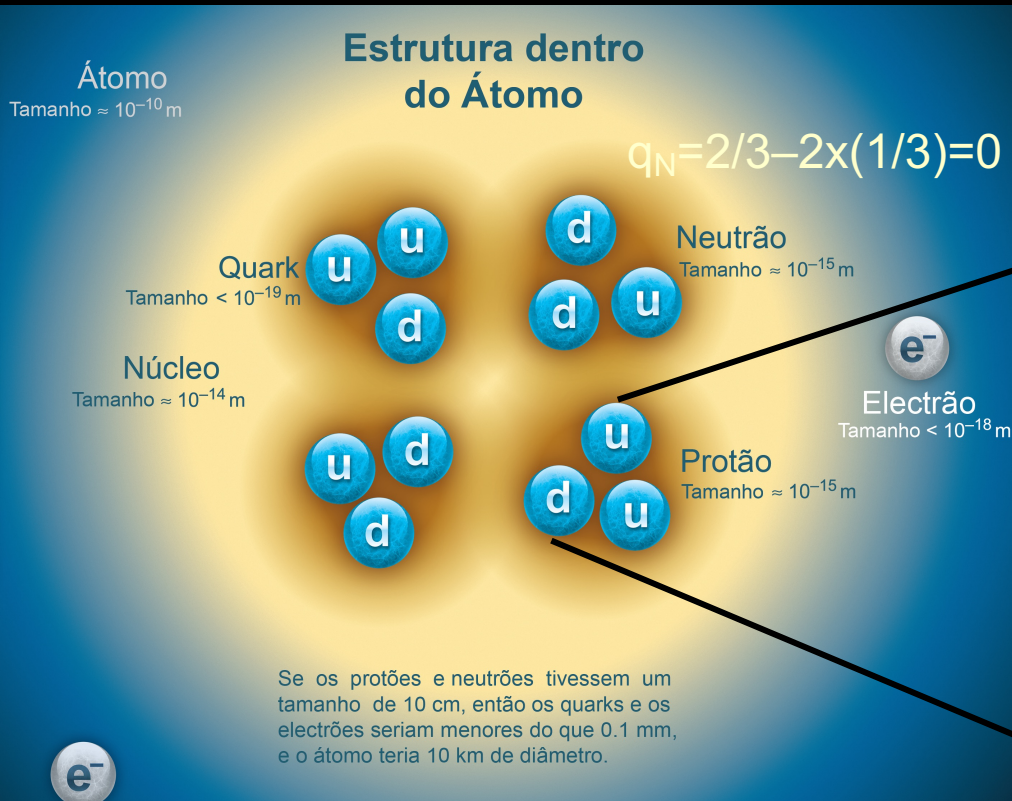
BARIÕES

Qual a nova estrutura de base, a 'nova tabela periódica' ?

Porque é que o protão é absolutamente estável?

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

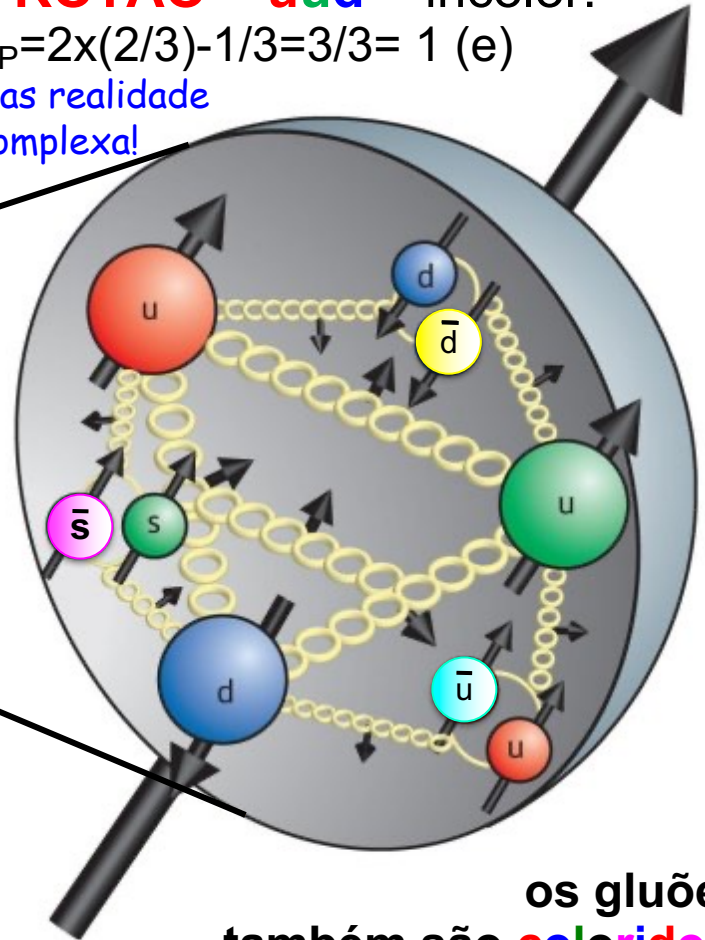
Nome Quark	Carga Eléctrica	Spin [h/(2π)]	
u (up)	+2/3 (e)	+1/2	● ● ●
d (down)	-1/3 (e)	+1/2	● ● ●



PROTÃO = u u d = incolor!

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

mas realidade complexa!



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

$$1 \text{ GeV}/c^2 = 1.78 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

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 $\approx 1.05 \times 10^{-34}$ J s.

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

A unidade de **Energia** em física de partículas é o **eV** (electron 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.

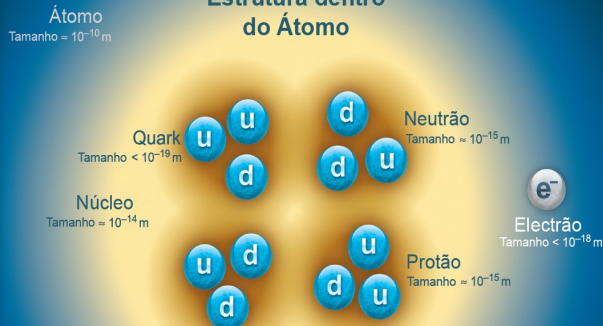
Processos com Partículas

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

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

$e^+ e^- \rightarrow B^0 \bar{B}^0$

Estrutura dentro do Átomo



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

BOSÕES

mediadores da

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 glúon	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 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 verdadeiramente carregadas interagem trocando interação trocando glúons.

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

Propriedade	Interacção Gravitica	Interacção Fraca (Electrofraca)	Interacção Electromagnética (Electrofraca)	Interacção Forte
Actua em:	Massa – Energia	Sabor	Carga Eléctrica	Carga de cor
Partículas afectadas:	Todas	Quarks, Leptões	Electricamente carregadas	Quarks, Glúons
Partículas mediadoras:	Gravitão (ainda por observar)	W^+ W^- Z^0	γ	Glúons
Intensidade a $\begin{cases} 10^{-18} \text{ m} \\ 3 \times 10^{-17} \text{ m} \end{cases}$	10^{-41} 10^{-41}	0.8 10^{-4}	1 1	25 60

glúons – estão confinados em partículas Este confinamento (ligação) resulta das constituintes "coloridas". 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** $q\bar{q}$ 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^- ($d\bar{u}$), kaão K^- ($s\bar{u}$), e B^0 ($d\bar{b}$).

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 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).

O Modelo Padrão (MP) – Matéria:



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

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
1897 e electrão	0.000511	-1	d down	0.005	-1/3
1962 ν_M neutrino* intermédio	$(0.009-2) \times 10^{-9}$	0	c charm	1.3	2/3
1937 μ muão	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
2001 ν_H neutrino* pesado	$(0.05-2) \times 10^{-9}$	0	t top	173	2/3
1975 τ tau	1.777	-1	b bottom	4.2	-1/3

E em relação às forças/interacções?



Propriedades das Interações

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	γ (fotão)	Gluões
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



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
+bosão de Higgs

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



Interações: Troca de Partículas!

BOSÕES

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

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

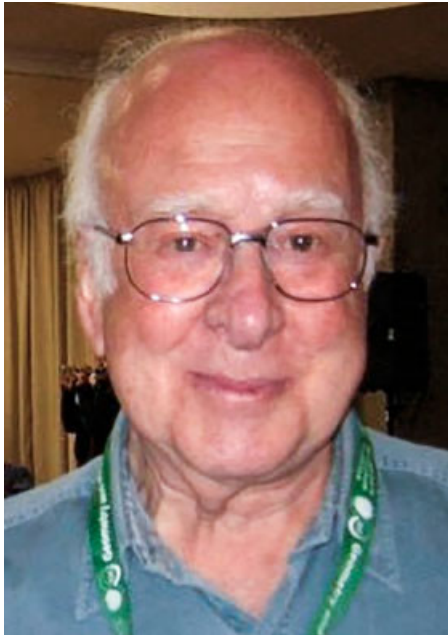
Forte (cor)		spin = 1
Nome	Massa GeV/c ²	Carga Eléctrica
g gluão	0	0

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

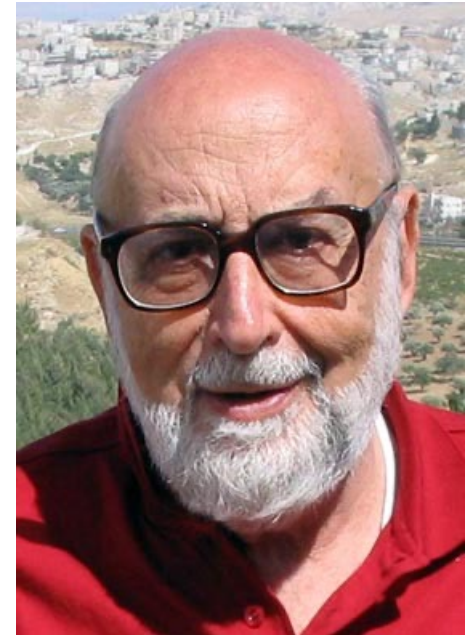
A Descoberta do bóson de Higgs... ...premiada com o Prémio Nobel 2013:



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



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

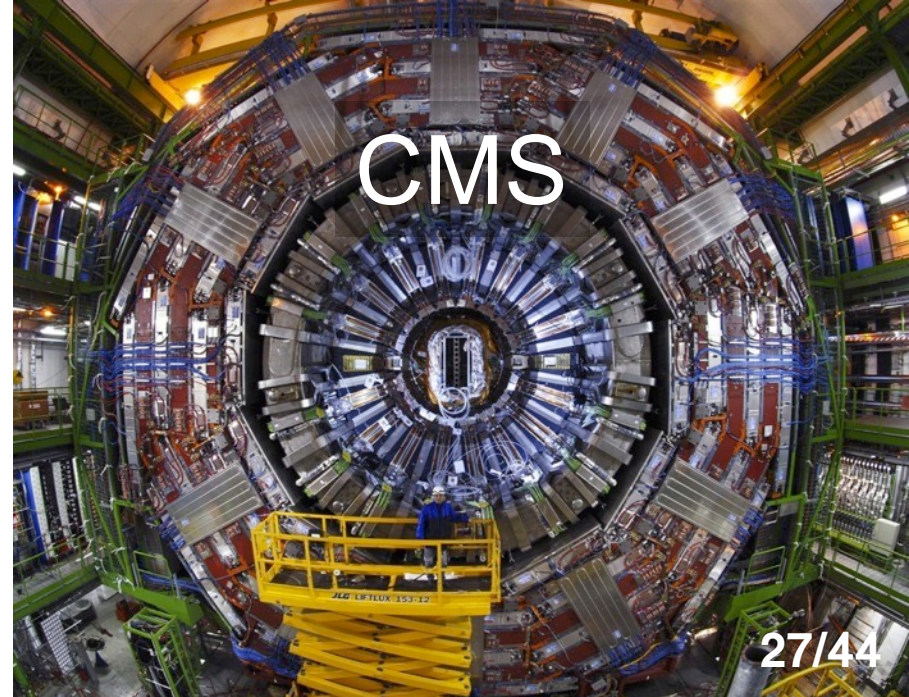
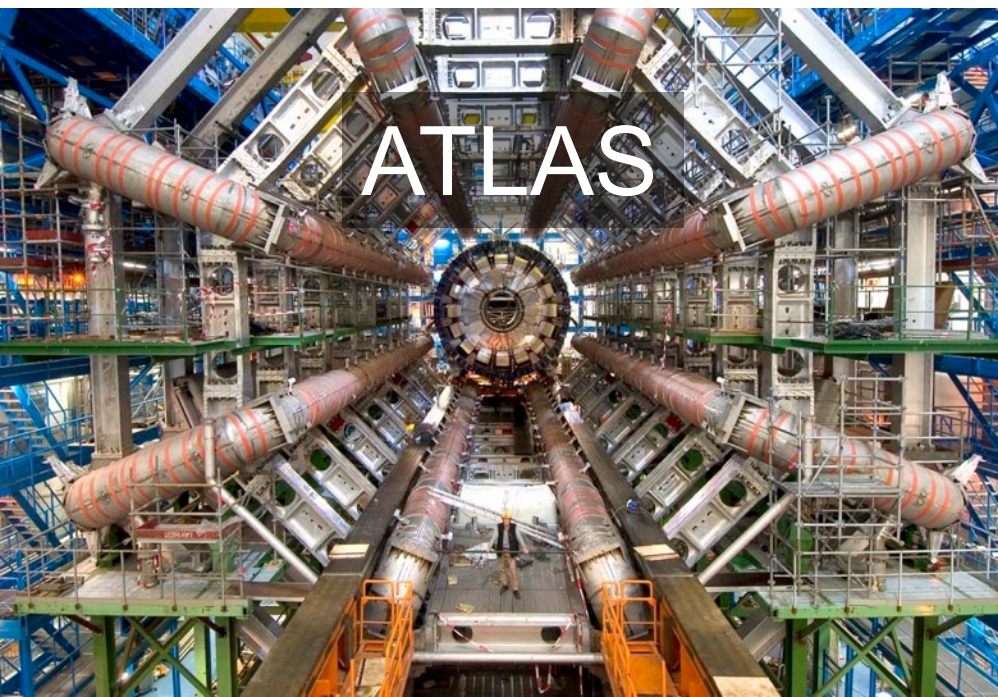


*"for the **theoretical discovery** of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the **discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider**"*

Acelerador LHC



Detectores LHC envolvidos na descoberta do b.Higgs



It's collaborative!



VIEWPOINT May 20, 2009, 11:57AM EST



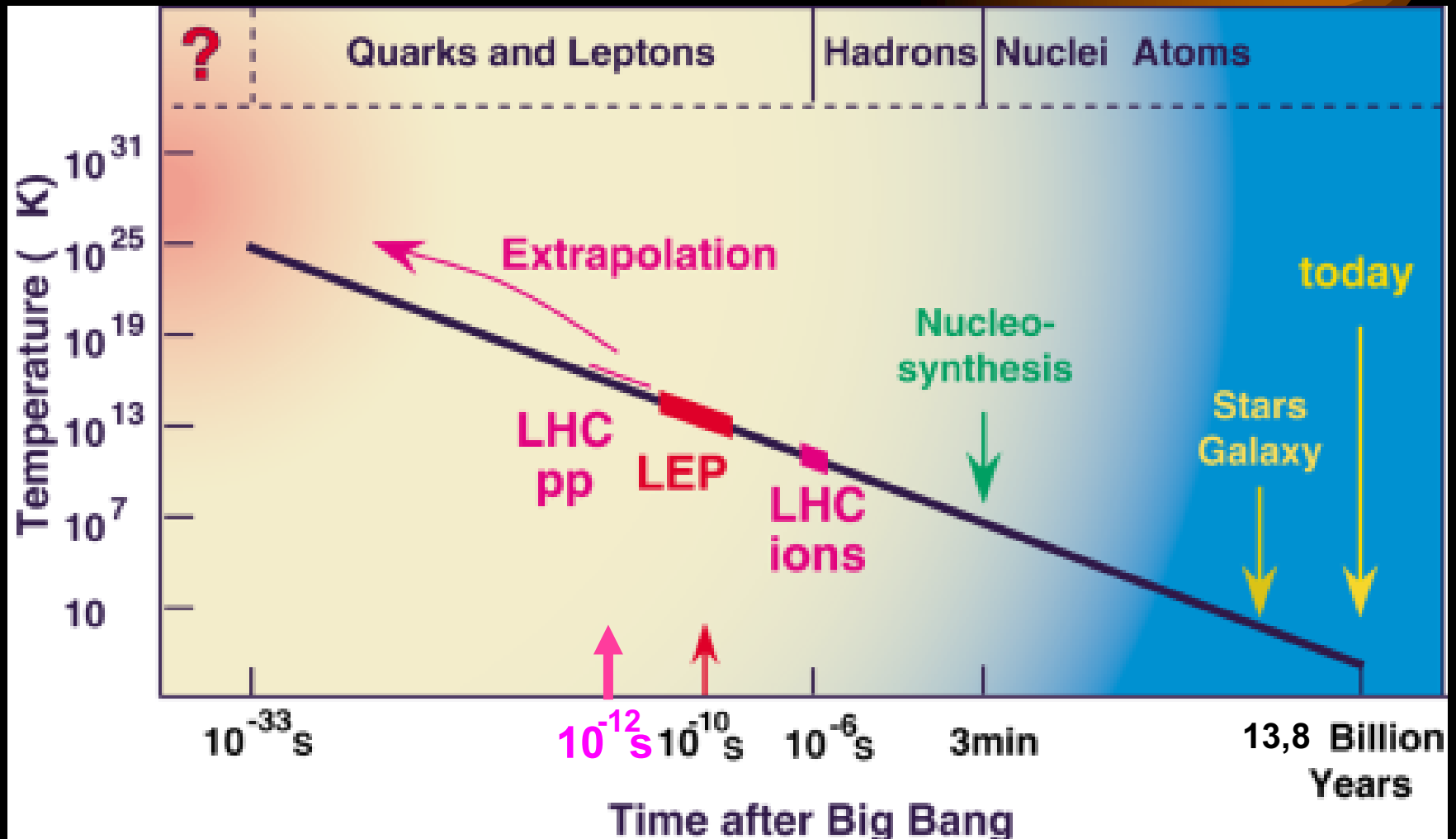
CERN's Collaborative Management Model

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

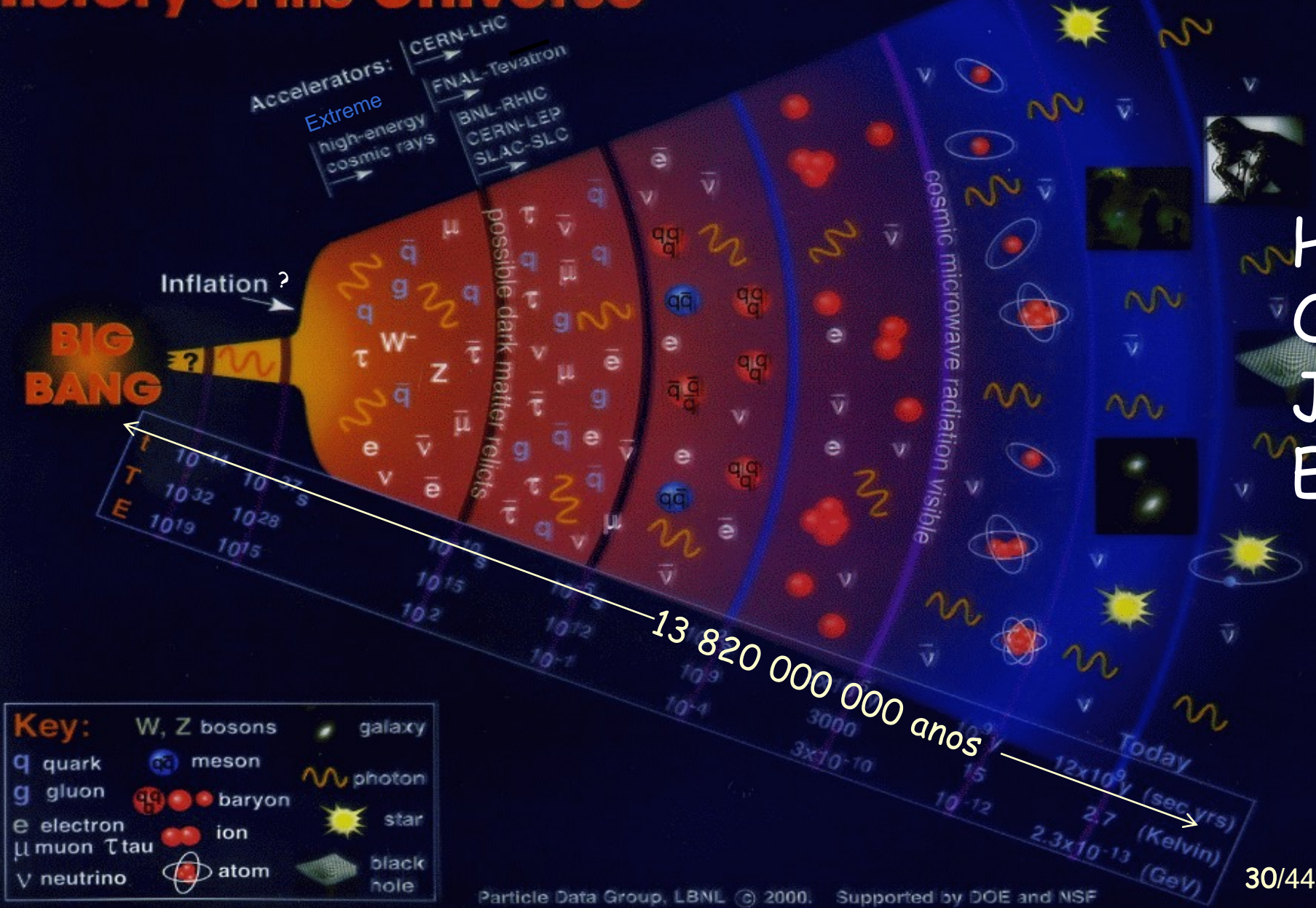
By [Krisztina Holly](#)

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.

Para o início do Universo...

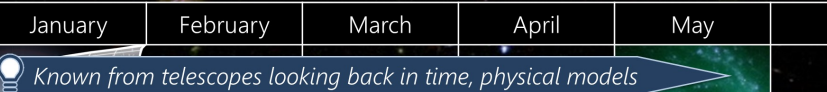
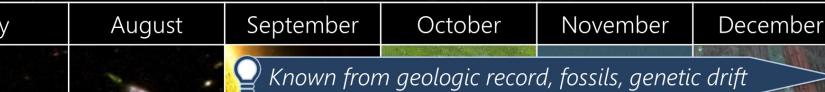


History of the Universe



H
O
J
E

The Cosmic Calendar

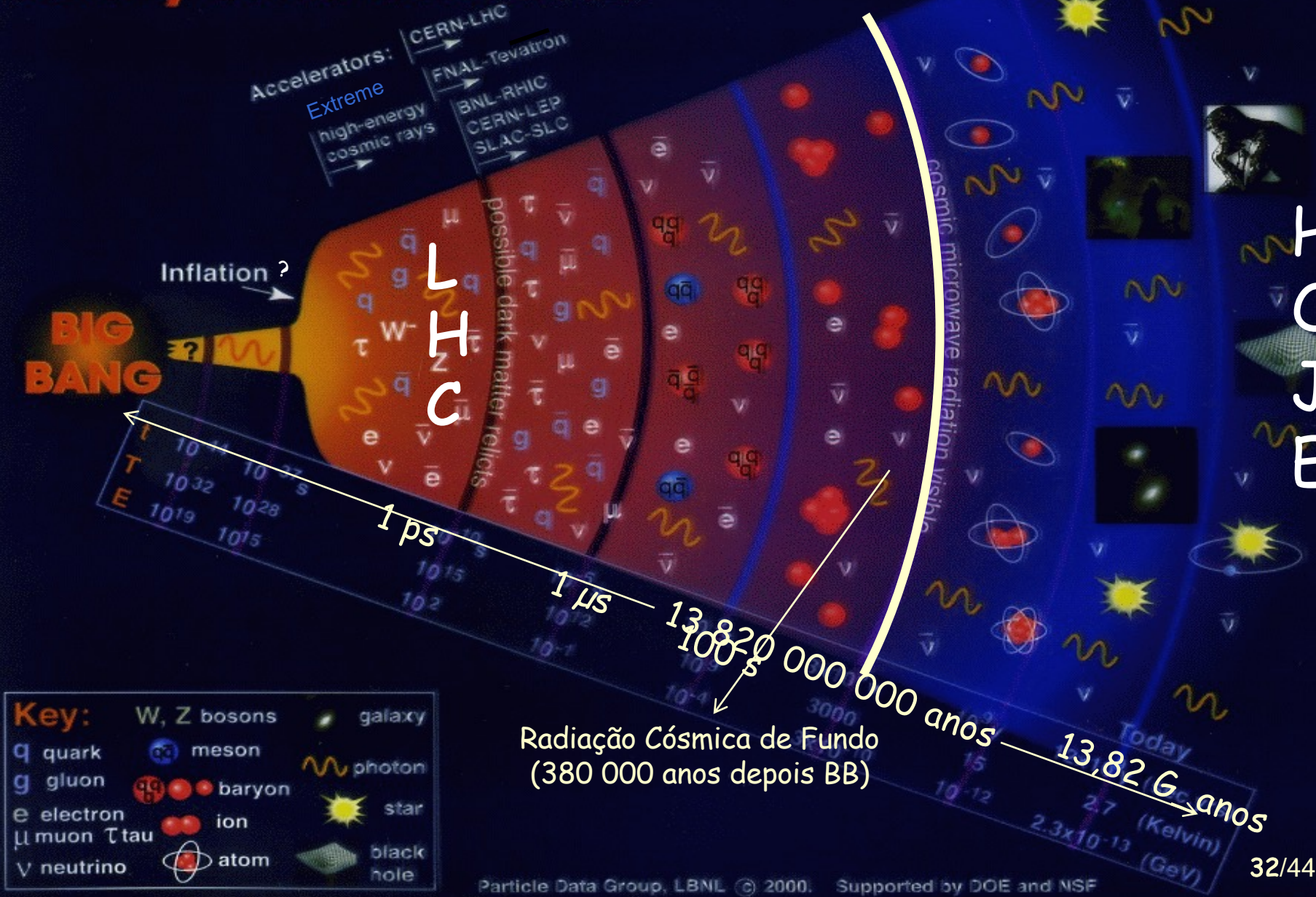
January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
 <i>Known from telescopes looking back in time, physical models</i>								 <i>Known from geologic record, fossils, genetic drift</i>			
The Big Bang, Stars First Appear				Thin Disk of the Milky Way				The Solar System, Life	Oxygen from Photosynthesis	Eukaryotic Cells	Multicellular Life

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15 Trace Fossils Only		16	17 Bones and Shells		18 Vertebrates		19 Land Plants		20 Fish with Jaws		21 Insects		
22 Amphibians 		23 Reptiles 		24 Pangaea Forms 		25 Dinosaurs 		26 Mammals 		27 Birds 		28 Flowers 	
29 Tyrannosaurids 		30 Dinosaurs Extinct, Mammals Take Over on Land and in Sea 		31 The Final Day...									
		Dawn: Apes and Monkeys Split		8 PM: Humans and Chimpanzees Split		9:25: Humans First Walk Upright		10:30: Human Brain Size Begins Tripling		11:52: Modern Humans Evolve		11:56 to 11:59: Human Migration	

A horizontal timeline illustrating the progression of human history. The timeline is marked with years from 50,000 to 0 (present). Key events are labeled above the timeline:

- 50,000 years ago:** Known from artifacts, radiocarbon dating, DNA extraction from remains (indicated by a lightbulb icon).
- End of Last Ice Age, Sea Level 400 Feet Lower Than Now:** Accompanied by an image of a mammoth.
- Agriculture Leads to Permanent Settlements:** Accompanied by an image of ancient farmers and a cow.
- Written records:** Indicated by a lightbulb icon.
- 2,000 years ago:** Columbus Arrives in America (1.2 Seconds Ago).
- 2,000 years ago:** Christ Born, Mohammed Born.
- 2,500 years ago:** Old Testament, Buddha.
- 2,600 years ago:** Dynastic China Begins.

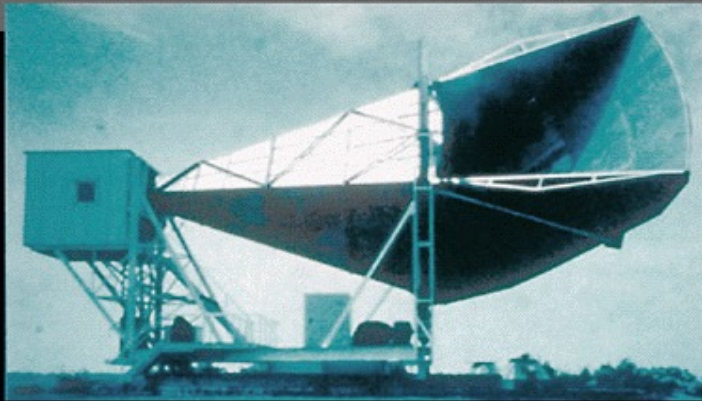
History of the Universe



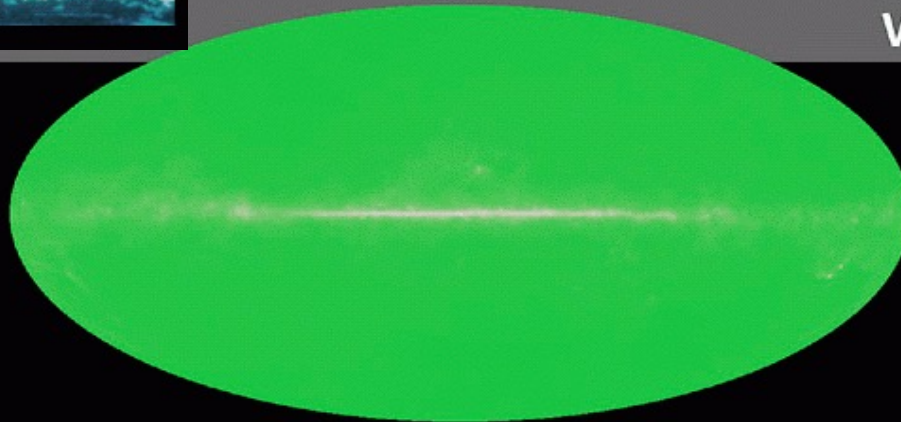
Radiação Cósmica de Fundo
(380 000 anos depois BB)

A Radiação Cósmica de Fundo

1965



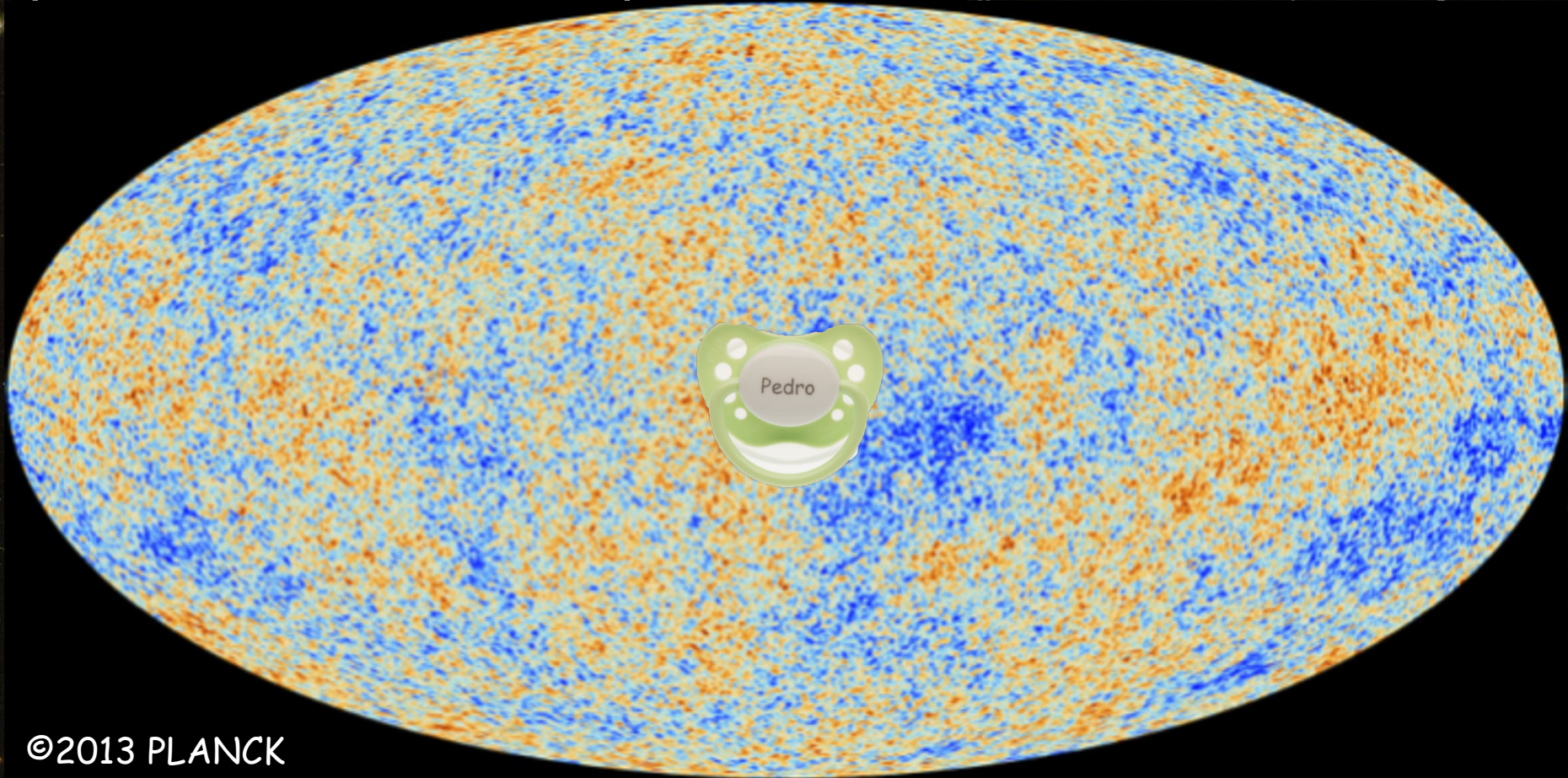
Penzias and
Wilson



Prémio Nobel
Física 1978

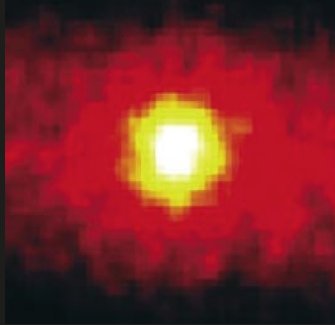
A Radiação Cósmica de Fundo do Universo (hoje)

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



©2013 PLANCK

(Sol em) neutrinos



Raios C3smicos de Energia Extrema



O UNIVERSO INVISÍVEL

3tico



InfraVerm.



UltraVioleta



Raios-X



Ondas R3dio



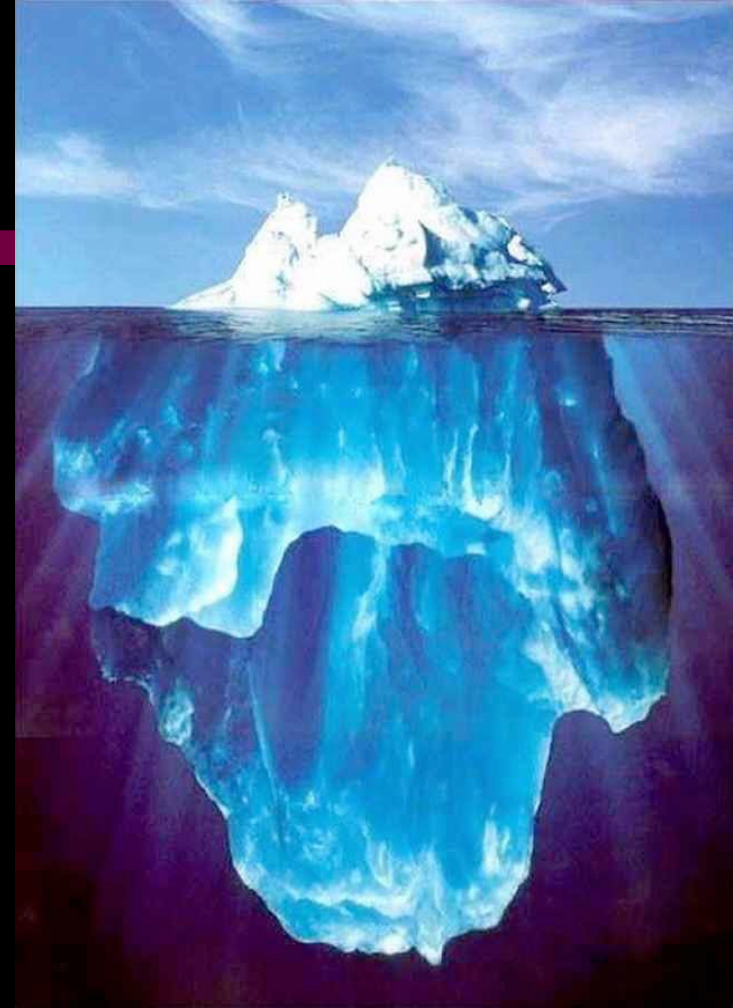
©2008 3ngel R. L3pez-S3nchez

©2011 Jorge Dias de Deus

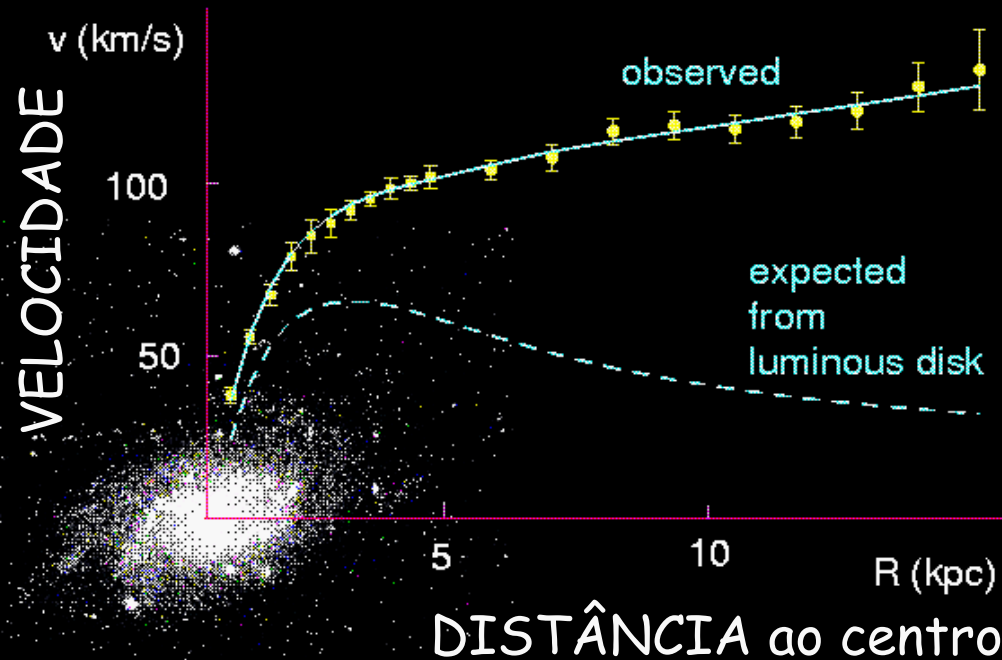
pedro abreu - Viagem ao infinito

©2011 Sofia Andringa

O Problema da Matéria Escura

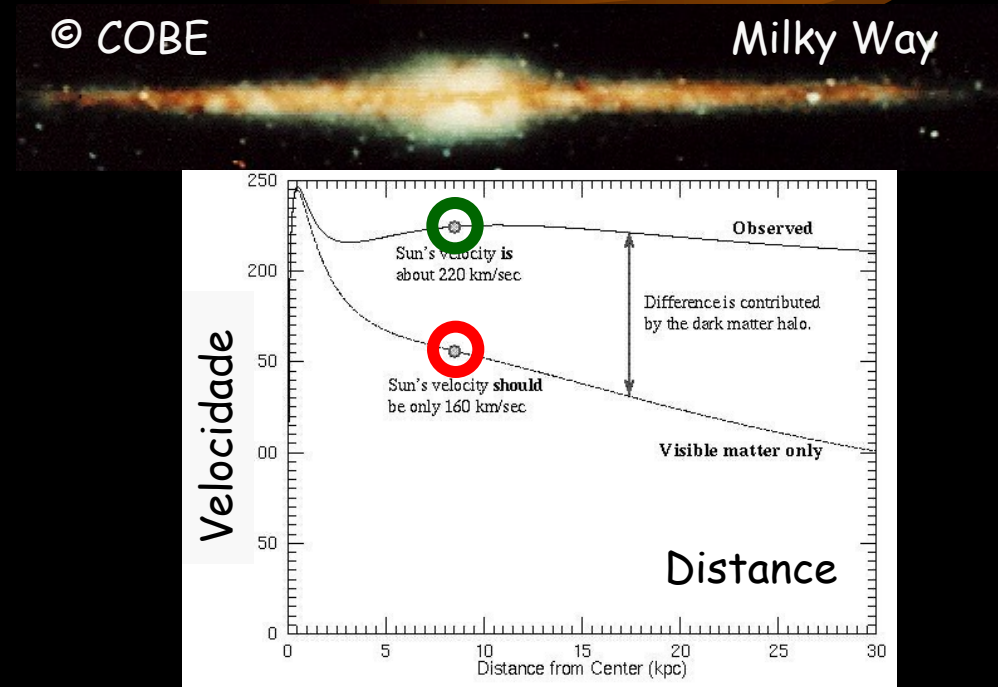


© A. De Angelis



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

Matéria Escura presente na nossa própria Galáxia!



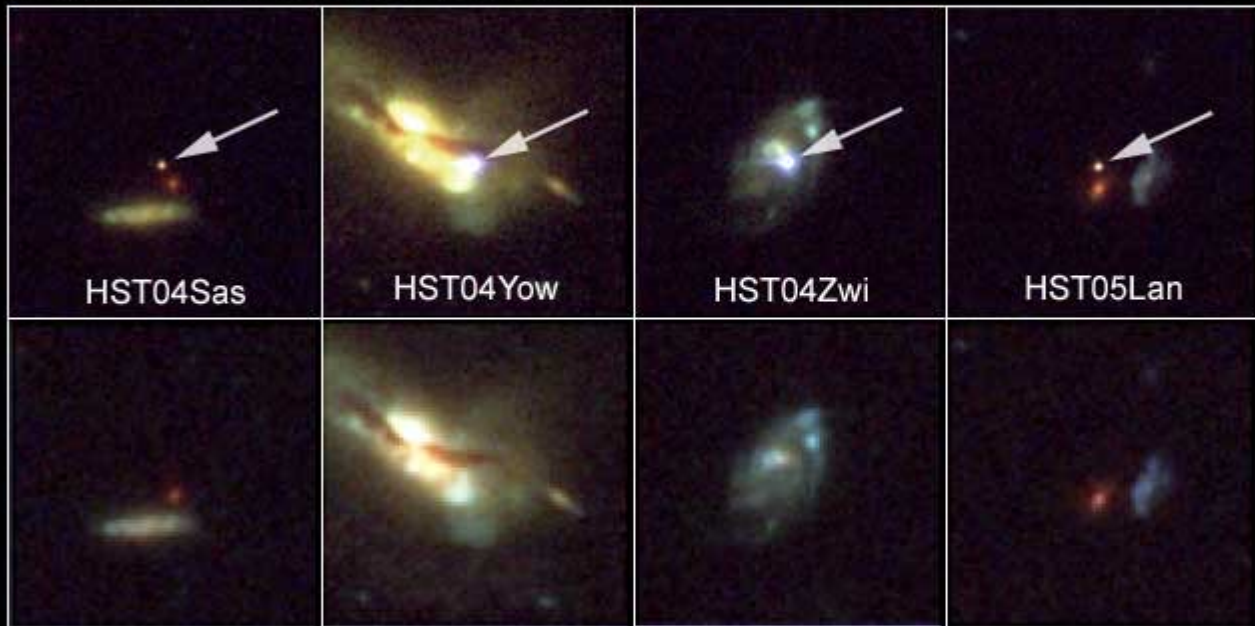
- Distribuída na Galáxia, não agrupada!
- Nenhuma forma de matéria conhecida!

O Problema da 'Energia Escura'

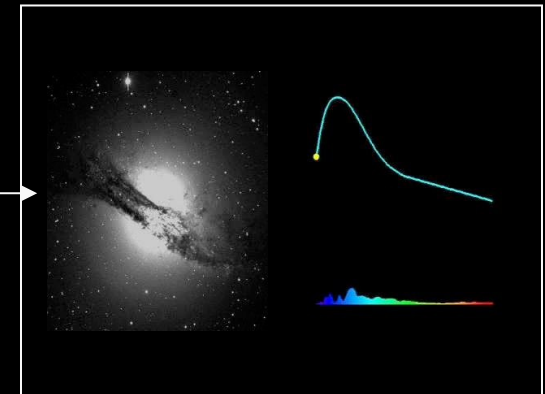
Cientistas estudam supernovae distantes para medir a evolução da expansão do Universo.

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

Host Galaxies of Distant Supernovae



HST • ACS/WFC



NASA, ESA, and A. Riess (STScI)

STScI-PRC06-52

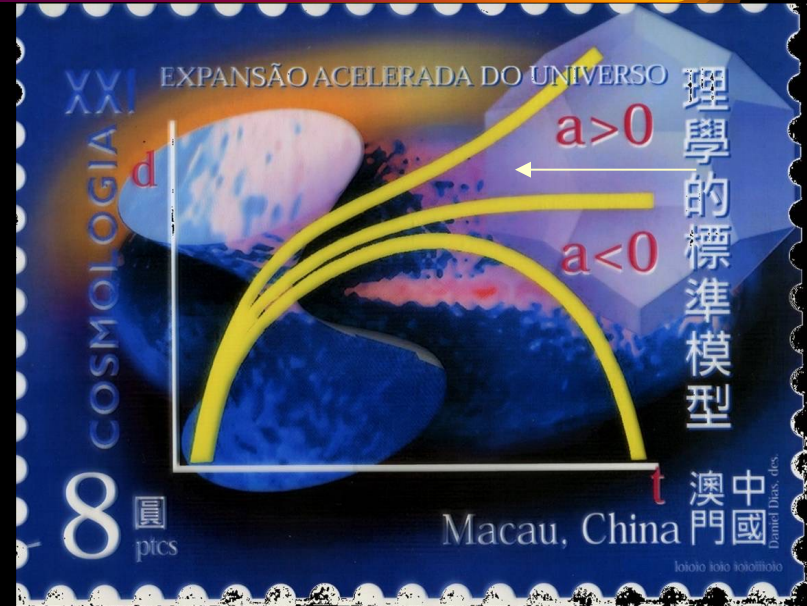
21 de julho
2022

pedro abreu - Viagem ao infinito

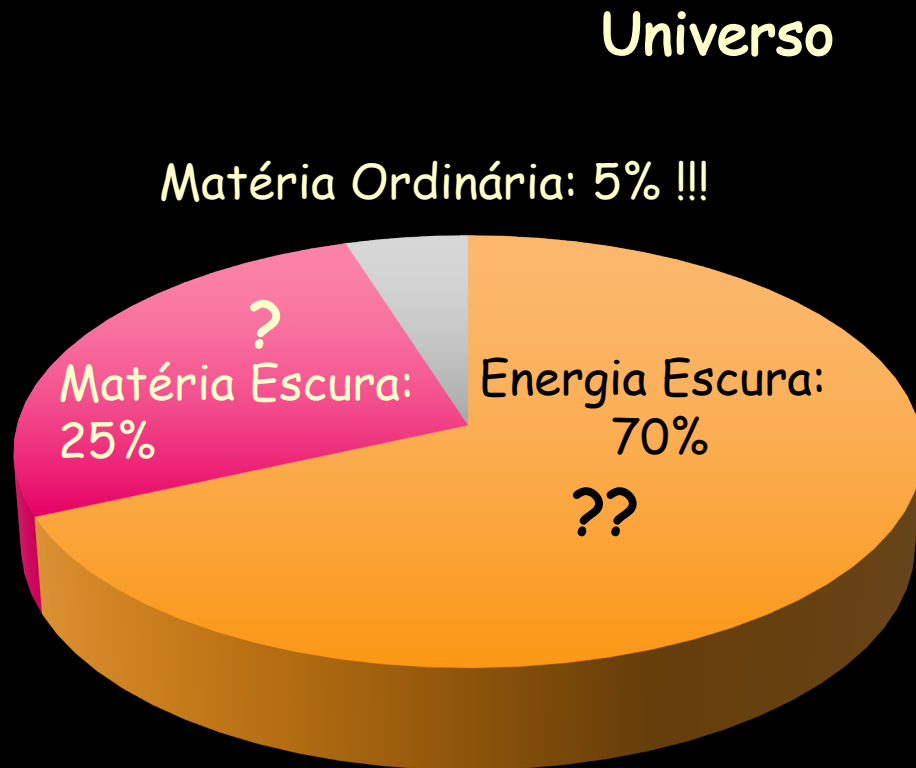
38/44

Oops...não está a diminuir!

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



De que é que feito o Universo?!



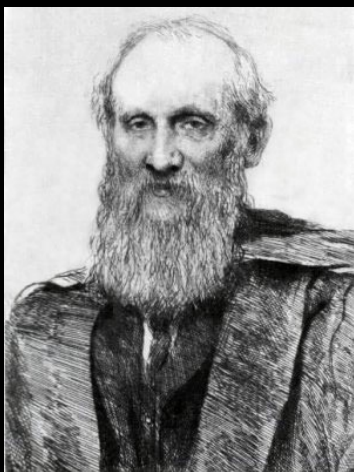
- Energia Escura
- Matéria Escura
- Matéria Ordinária

©2013 PLANCK

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

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

(Albert Michelson, 1894)



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

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

(Lord Kelvin, 1900)

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

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

(Albert)Michelson – (Edward)Morley

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



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

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

- 1) Matéria e energia escuras
- 2) Experiências de resultado nulo na pesquisa de sinais de nova física até ~ 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!"*