

Do que é constituída a Matéria?

Júlio C. Fabris

DFIS/PPGCosmo - Universidade Federal do Espírito Santo

Astrofísica, Cosmologia e Gravitação

A diversidade

Pedras e folhas

- Há uns três mil anos atrás, começou-se a especular que poucos elementos **FUNDAMENTAIS** estariam por trás de toda esta diversidade.

A diversidade

Pedras e folhas

- Existiriam apenas quatro elementos básicos na natureza:

- 1 Água,
- 2 Terra,
- 3 Ar,
- 4 Fogo.

A diversidade

Thales de Mileto

- Há aproximadamente 2.500 anos atrás um filósofo grego, Thales de Mileto, propôs uma ideia ousada.

A diversidade

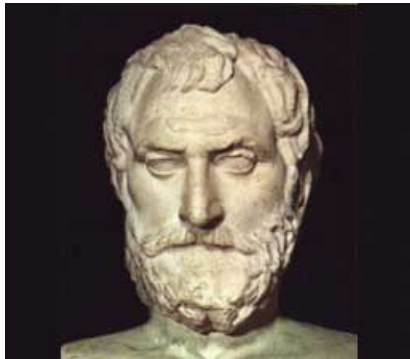
Thales de Mileto

- Existe apenas um elemento fundamental do qual todos os outros derivam:

A Água!

A diversidade

Thales de Mileto



Thales de Mileto: 624 AC a 546 AC.

Os átomos

A hipótese

- Um pouco depois, outro filósofo grego, Demócrito, apresentou uma outra hipótese, que ficou conhecida como atomismo.

Os átomos

A hipótese

- **"Tudo é formado pelo encontro de pequenas partículas indivisíveis (os átomos) que se deslocam aleatoriamente no vazio e segundo o acaso se juntam para formar tudo o que vemos."**

Os átomos

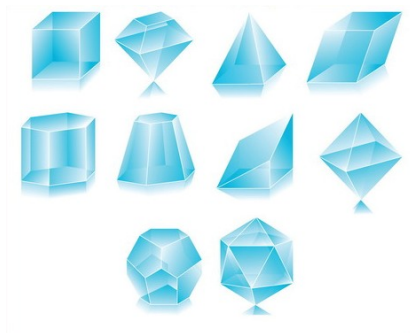
Demócrito



Demócrito: 460 AC a 370 AC.

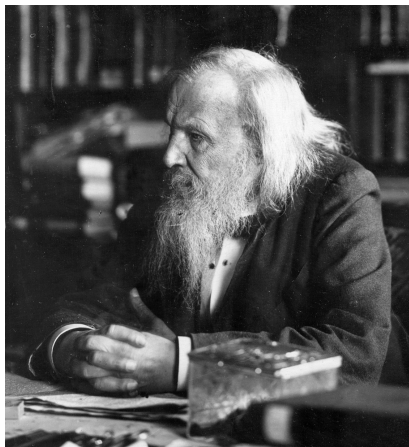
Os átomos

Demócrito



Os átomos

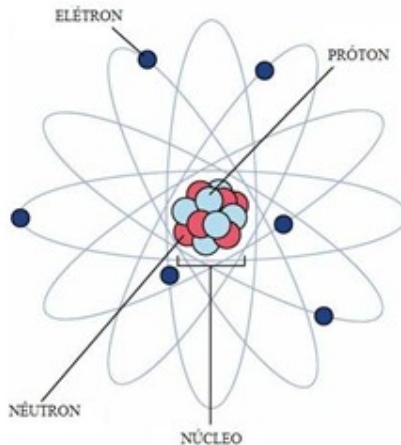
Mendeleiev





Os átomos

Configuração



Os átomos

Tamanho

- O átomo é extremamente pequeno:
 - Tamanho típico: $10^{-10} m = 1\text{\AA}$.
 - Massa típica: $10^{-26} kg$.
- Uma pulga é 10 milhões de vezes maior que um átomo.

Os átomos

Constituintes

- O átomo é constituído de:
 - Elétrons, partículas de carga negativa;
 - Núcleo, que por sua vez é constituído de
 - Prótons partículas de carga positiva;
 - Nêutrons, partículas sem carga.
- Quase toda massa de um átomo está no seu núcleo.

Os átomos

Constituintes

- $m_e \sim 10^{-30} \text{ kg}, \quad R_e < 10^{-18} \text{ m}.$
- $m_p \sim 10^{-27} \text{ kg}, \quad R_e \sim 10^{-15} \text{ m}.$
- $m_n \sim 10^{-27} \text{ kg}, \quad R_n \sim 10^{-15} \text{ m}$
- **Raio do núcleo: entre 10^{-15} e $10^{-14} \text{ m}.$**

Os átomos

Energia

- A energia típica que mantém o elétron preso ao átomo é da ordem de alguns eV .

$$1eV = 1,6 \times 10^{-19} J.$$

- 10 J é tipicamente a energia de uma pedra de 1 kg caindo da altura de 1 metro.
- As reações químicas envolvem energias da ordem de eV .

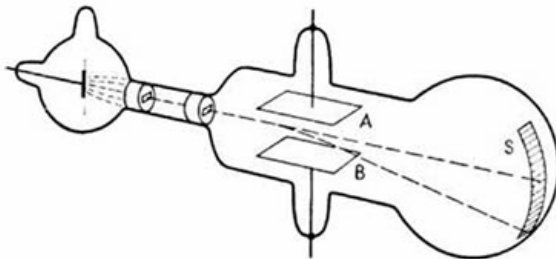
Os átomos

Descoberta do Elétron

- **O elétron foi descoberto por uma série de experiências feitas pelo físico inglês Thomson em torno de 1897.**

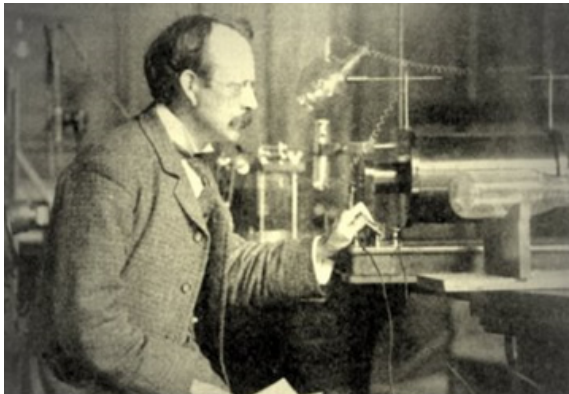
Os átomos

Descoberta do Elétron



Os átomos

Descoberta do Elétron



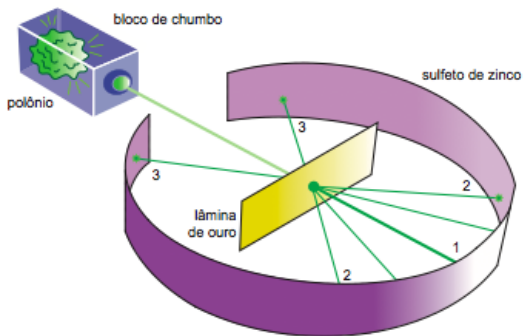
Os átomos

Descoberta do Próton

- **O próton foi descoberto por uma série de experiências feitas pelo físico neo-zelandês Rutherford bem no início do século XX.**

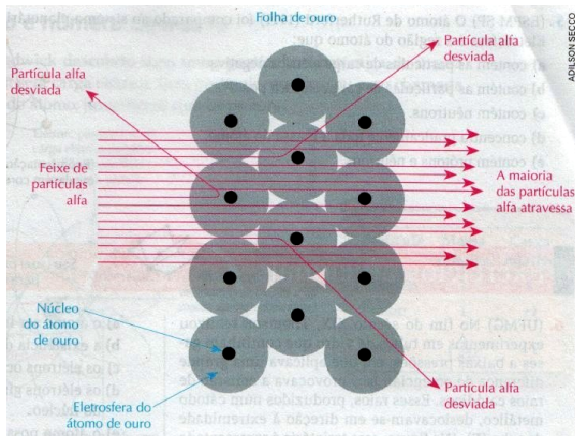
Os átomos

Descoberta do Próton



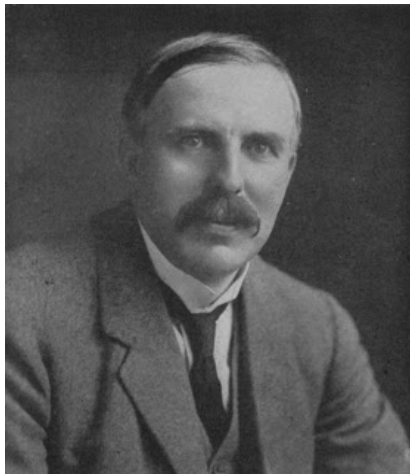
Os átomos

Descoberta do Próton



Os átomos

Descoberta do Próton



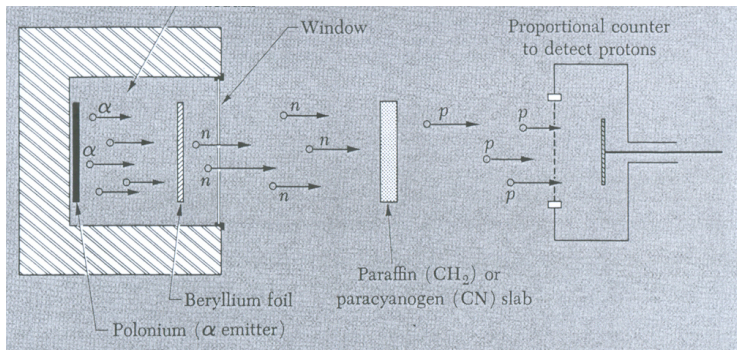
Os átomos

Descoberta do Nêutron

- **O nêutron foi descoberto por uma série de experiências feitas pelo físico inglês Chadwick em torno de 1932.**

Os átomos

Descoberta do Nêutron



Os átomos

Descoberta do Nêutron



Partículas Elementares

Nêutrons, Prótons e Elétrons

- Depois da descoberta dos nêutrons, a compreensão da estrutura da matéria parecia definida.
- A matéria seria formada por átomos, que por sua vez seriam constituídos de prótons, nêutrons e elétrons.

Partículas Elementares

A anti-matéria

- A anti-matéria foi prevista teoricamente pelo físico inglês Dirac (tinha 28 anos de idade!), isto no final da década de 20.
- Ao combinar a mecânica quântica com a teoria da relatividade restrita ele formulou a *mecânica quântica relativista*.
- Esta teoria previa a existência de partículas com energia negativa, algo aparentemente absurdo (em se tratando de uma partícula livre).

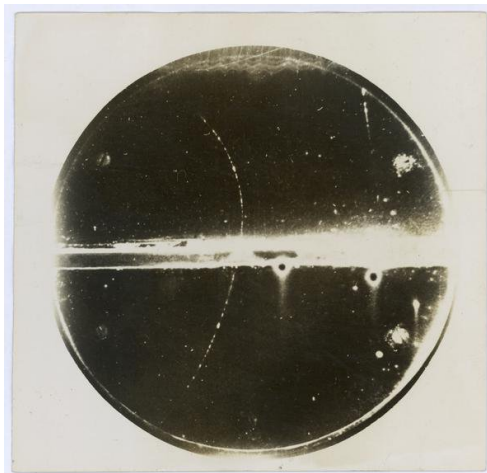
Partículas Elementares

A anti-matéria

- O que seria esta *anti-matéria*?
- Para cada partícula existe uma anti-partícula, que tem as mesmas propriedades, exceto uma: o sinal da carga é invertido.
- Assim, se há o elétron, que tem carga negativa, existe o *anti-elétron*, com mesma massa (e spin), mas com carga positiva.
- Correntemente, o anti-elétron é chamado de *pósitron*

Partículas Elementares

A descoberta do pósitron



Partículas Elementares

A anti-matéria

- Quando o elétron encontra o pósitron, eles se *aniquilam* dando origem a fótons (quantum de luz):

$$e^{-} + e^{+} \rightarrow \gamma + \gamma.$$

Partículas Elementares

Novas partículas

- Mas, novos aparelhos, denominados *aceleradores de partículas*, foram indicando a existência de novas partículas.

- ν , $\pi^{\pm}$, π^0 , $\Sigma^{\pm}$, $\mu^{\pm}$,

Partículas Elementares

César Lattes

- Os píons (π) foram descobertos em 1948 pelo brasileiro César Lattes, que na época tinha 24 anos.

Partículas Elementares

César Lattes



Partículas Elementares

César Lattes



Partículas Elementares

Aceleradores de partículas



Partículas Elementares

Aceleradores de partículas



Partículas Elementares

Aceleradores de partículas



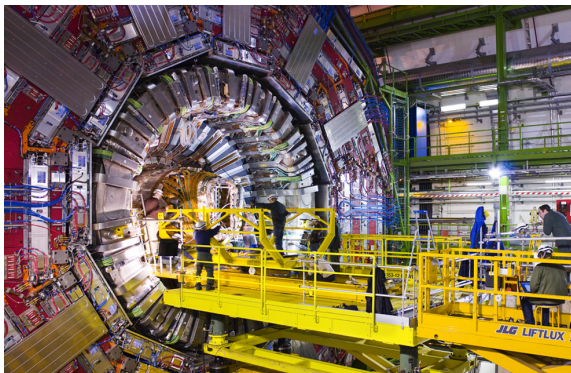
Partículas Elementares

Aceleradores de partículas



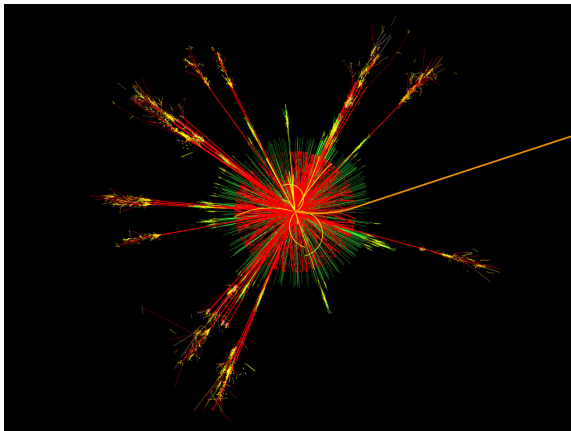
Partículas Elementares

Aceleradores de partículas



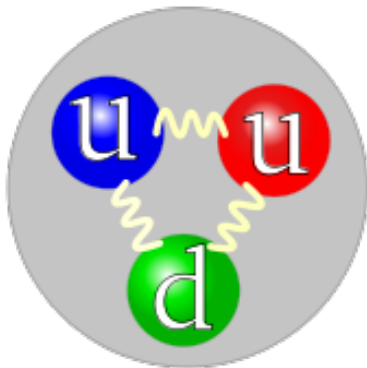
Partículas Elementares

Aceleradores de partículas



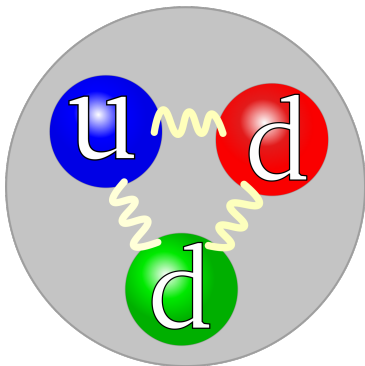
Partículas Elementares

Modelo de quarks



Partículas Elementares

Modelo de quarks



As interações fundamentais

Energia nuclear

- A energia de ligação típica dos nêutrons e prótons no interior do núcleo é da ordem de

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}.$$

- Ela é um milhão de vezes maior que as energias envolvidas nas reações químicas.
- Isto reflete a grande intensidade das interações entre os quarks.

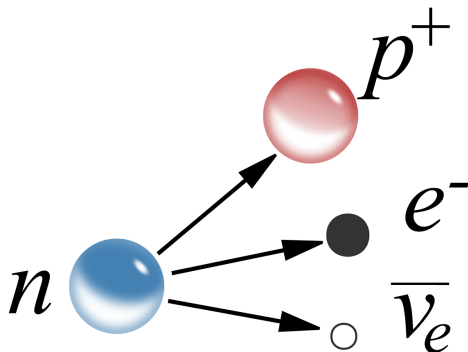
As interações fundamentais

As interações fundamentais

- **Essas partículas elementares atuam umas sobre as outras essencialmente através de três interações:**
 - 1 A interação eletromagnética, quando elas têm *carga*;**
 - 2 A interação forte que agem (atrativamente) entre os quarks.**
 - 3 A interação fraca, que envolvem sempre neutrinos e que todas a partículas elementares sentem.**

Partículas Elementares

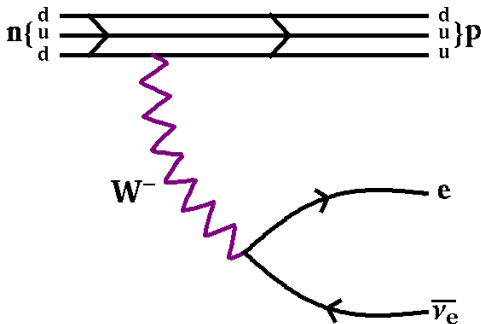
Interação fraca



Partículas Elementares

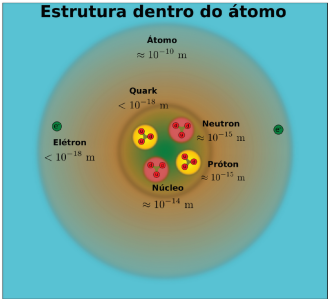
Interação fraca

Neutron Decay



Partículas Elementares

Atomo



(a) Estrutura atômica, fora de escala.

Três Gerações da Matéria (Férmions)

	I	II	III	
massa→	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV	0
carga→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nome→	u	c	t	γ
	up	charm	top	fóton
Quarks	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d	s	b	g
	down	strange	bottom	glúon
Léptons	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV	91,2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e	ν_μ	ν_τ	Z
	neutrino do elétron	neutrino do múon	neutrino do tau	força fraca
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e	μ	τ	W
	elétron	múon	tau	força fraca

Bósons (Forças)

(b) Partículas elementares de acordo com o modelo padrão.

Figura 2.8: Estrutura da matéria de acordo com o modelo padrão.

Epílogo

Da água aos quarks e léptons

- **Em 2.500 passamos da visão de água era o constituinte de toda a matéria para o modelo de quarks.**

Epílogo

Da água aos quarks

- **Cabe aos novos cientistas desvendarem se os quarks e os léptons são a última palavra ou se existem ainda estruturas mais complexas.**

E a gravitação?

- Falamos das interações eletromagnéticas, interações fracas e fortes, mas não falamos da gravitação.
- A gravitação será fundamental em vários momentos, incluindo a estrutura das estrelas e a evolução do universo.
- Veremos isto mais à frente.