

O mundo das partículas elementares

Pedro Cunha de Holanda
Instituto de Física Gleb Wataghin
UNICAMP

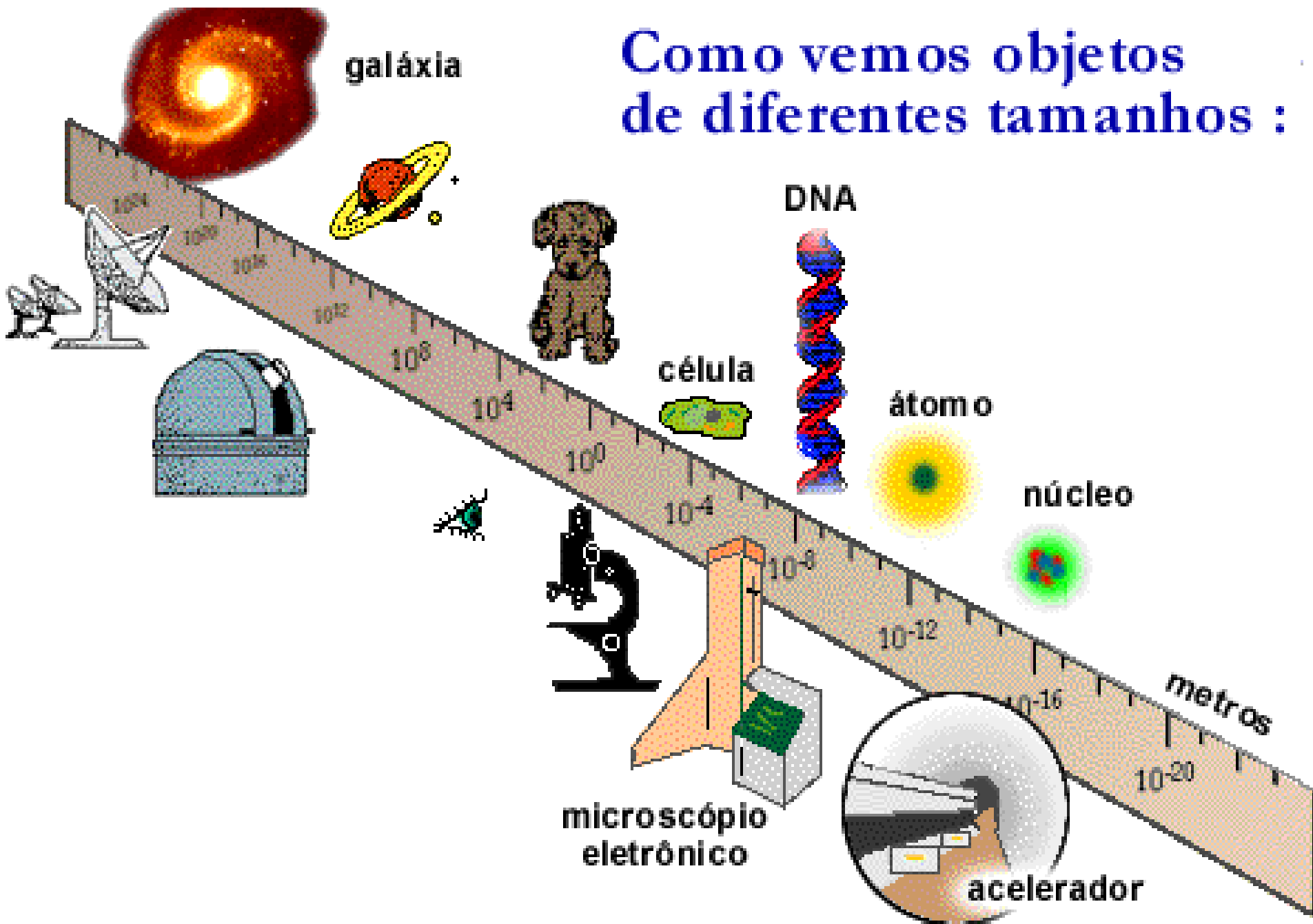
O que é a Física das Partículas Elementares?

A parte da Física que procura responder:

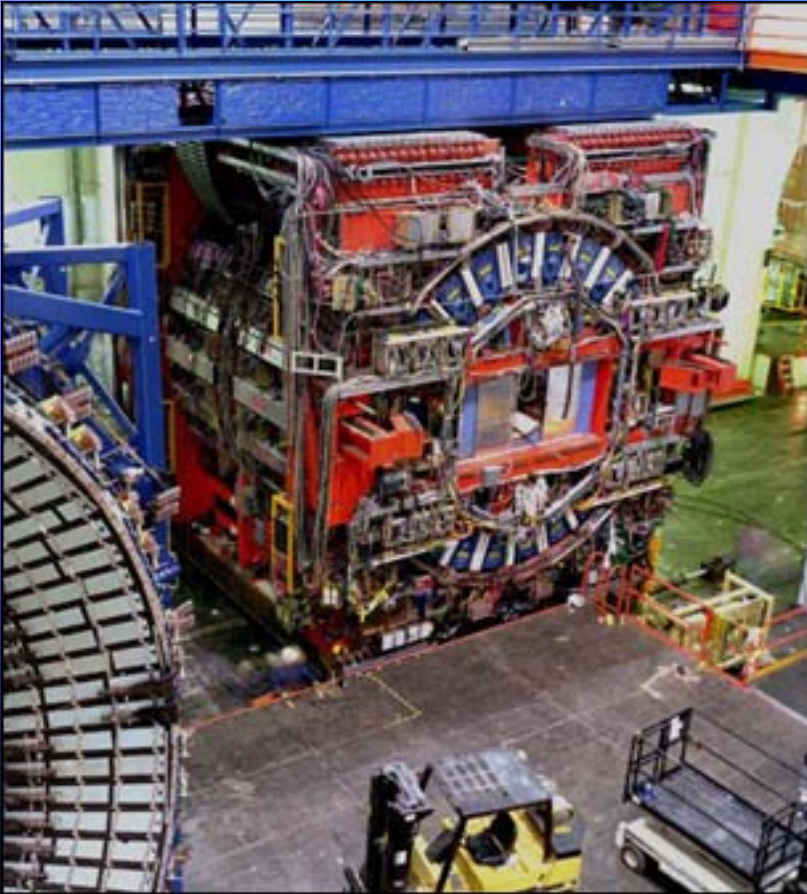
- Do que a matéria é feita?
- Como os ingredientes básicos se combinam?
- Quais as interações fundamentais?



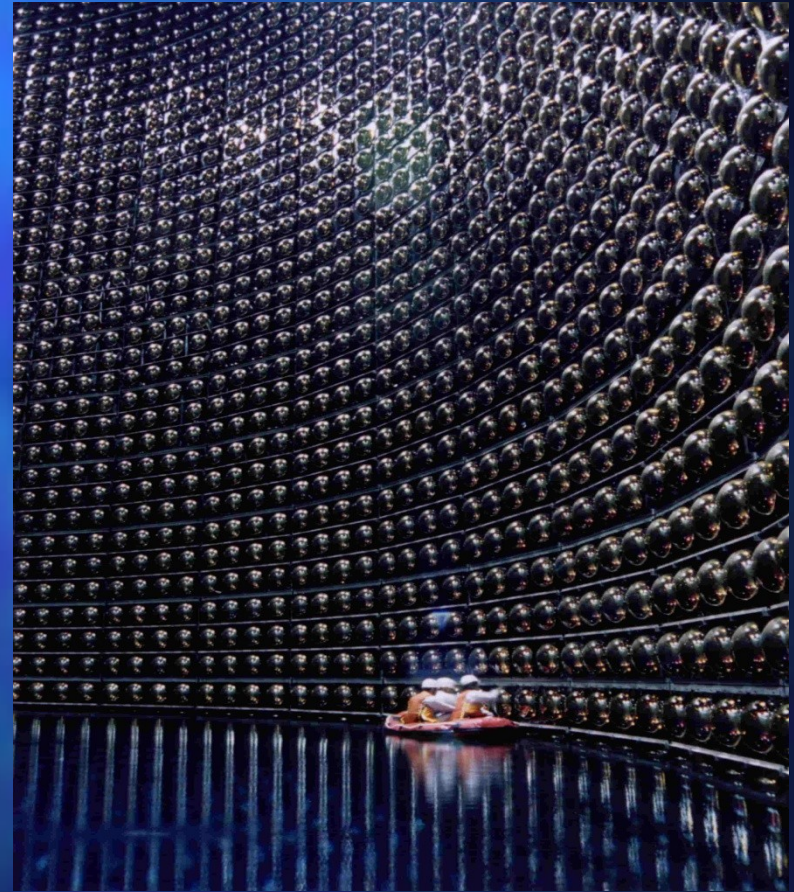
Como vemos objetos de diferentes tamanhos :



Como se investigam as partículas elementares?



Aceleradores (Fermilab)



Raios Cósmicos (SuperKamiokande)

Começando do começo: o próton, o nêutron e o elétron

- modelo de átomo: prótons e nêutrons em um núcleo, e elétrons rodeando este núcleo.
- elétrons parecem ser realmente partículas fundamentais, mas prótons e nêutrons são compostos por partículas ainda mais fundamentais, os quarks.
- e descobriu-se que a luz também tem comportamento de partículas: o fóton.

Mas não é só...

O Neutrino

- no decaimento radioativo, um núcleo A se converte em um núcleo B com emissão de um elétron
- As energias de B e do elétron deviam ser fixas, dadas pelas massas de A e B.
- resultado bem diferente, o elétron é medido com várias energias diferentes.

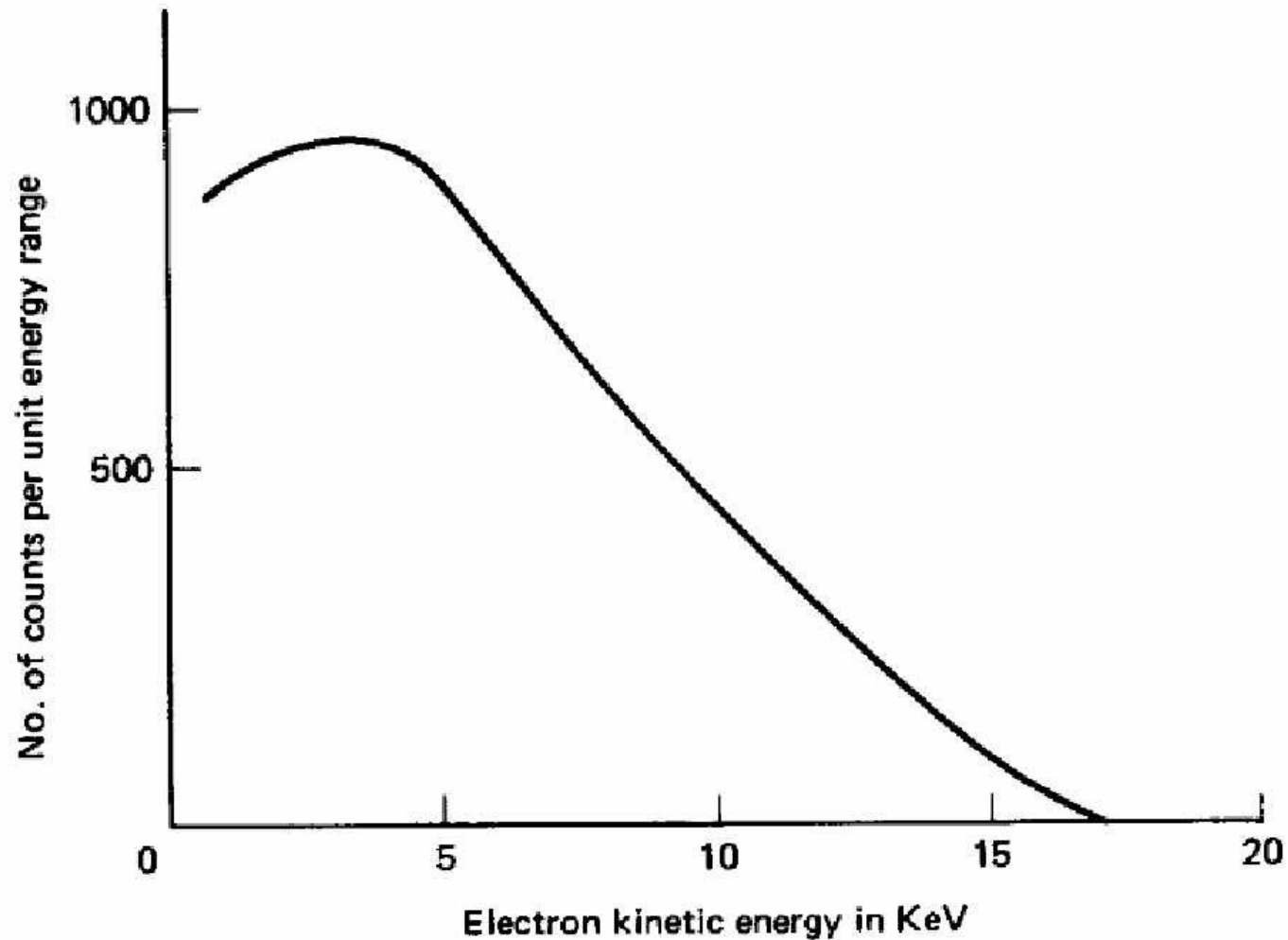


Figure 1.6 The beta decay spectrum of tritium (${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He}$). (Source: G. M. Lewis, *Neutrinos* (London: Wykeham, 1970), p. 30.)

O Neutrino

- Niels Bohr propôs abrir mão da lei de conservação de energia!
- Pauli sugeriu que uma outra partícula era emitida, e escapava do experimento sem deixar rastros.

O Neutrino

- Niels Bohr propôs abrir mão da lei de conservação de energia!
- Pauli sugeriu que uma outra partícula era emitida, e escapava do experimento sem deixar rastros.

I have done a terrible thing,
I have postulated a particle that
cannot be detected.

Pauli

O Neutrino

- Niels Bohr propôs abrir mão da lei de conservação de energia!
- Pauli sugeriu que uma outra partícula era emitida, e escapava do experimento sem deixar rastros.

Eu fiz uma coisa terrível,
Eu postulei uma partícula que
não pode ser detectada

Pauli

O que são Neutrinos?

Partículas elementares que estão por toda parte!

- Até o final do seminário cada um de nós terá emitido cerca de 10 milhões de neutrinos! (20 mg de $^{40}\text{K}_{19}$ que é β -radioativo).

O que são Neutrinos?

Partículas elementares que estão por toda parte!

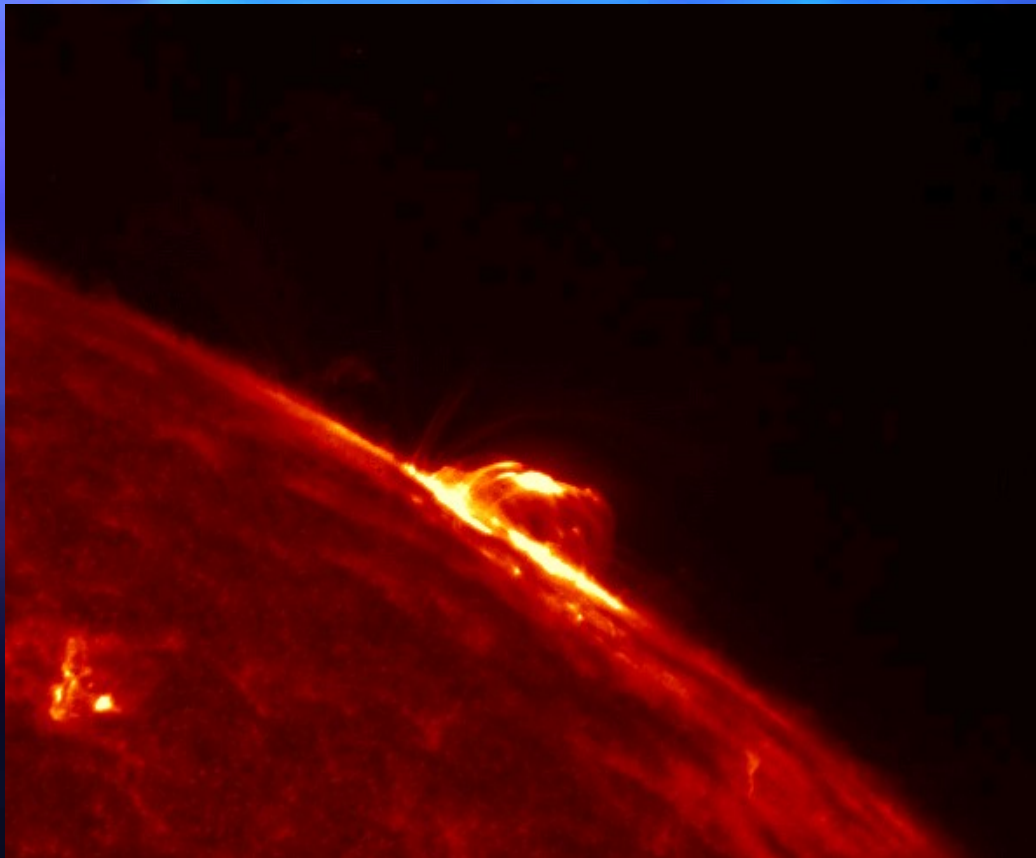
- Até o final do seminário cada um de nós terá emitido cerca de 10 milhões de neutrinos! (20 mg de $^{40}\text{K}_{19}$, que é β -radioativo).
- Na direção oposta, **neste exato segundo**, recebemos:
 - 50 bilhões da radioatividade natural da Terra.
 - 10 a 100 bilhões de reatores nucleares pelo mundo.
 - 300 trilhões provenientes do Sol.

O que são Neutrinos?

Partículas elementares que estão por toda parte!

- Até o final do seminário cada um de nós terá emitido cerca de 10 milhões de neutrinos! (20 mg de $^{40}\text{K}_{19}$, que é β -radioativo).
- Na direção oposta, **neste exato segundo**, recebemos:
 - 50 bilhões da radioatividade natural da Terra.
 - 10 a 100 bilhões de reatores nucleares pelo mundo.
 - 300 trilhões provenientes do Sol.
- Felizmente os neutrinos interagem muito pouco com a matéria:
 - 1 neutrino com energia moderada nos atravessa, atravessa o planeta, atravessa **1 ano-luz de chumbo!** Com baixa probabilidade de interação.

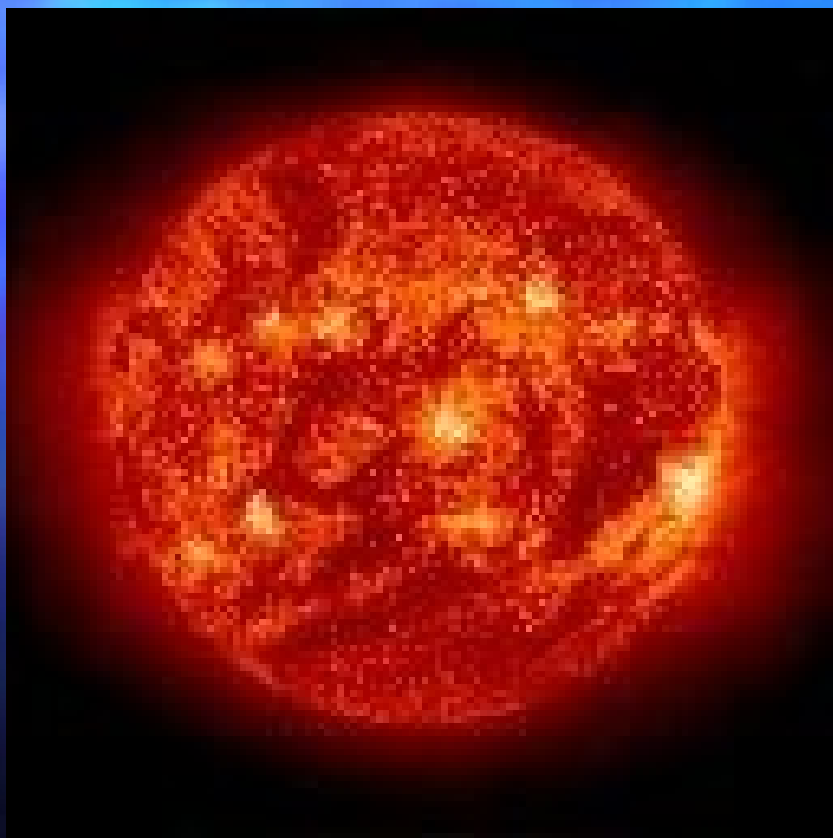
Exemplo Próximo: O Sol



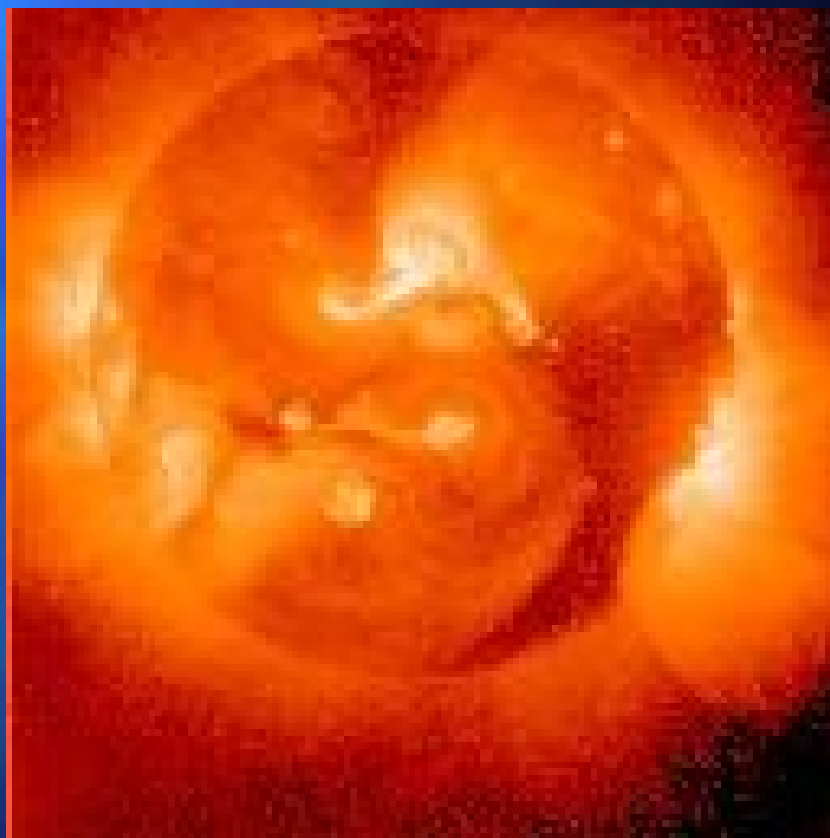
- fornecimento de luz (raios gama) com energias diversas.
- emissão de prótons, elétrons, núcleos de Hélio etc (vento solar)
- vasta emissão de neutrinos (bilhões por cm^2 por segundo!)

O Sol, visto através de radiação gama

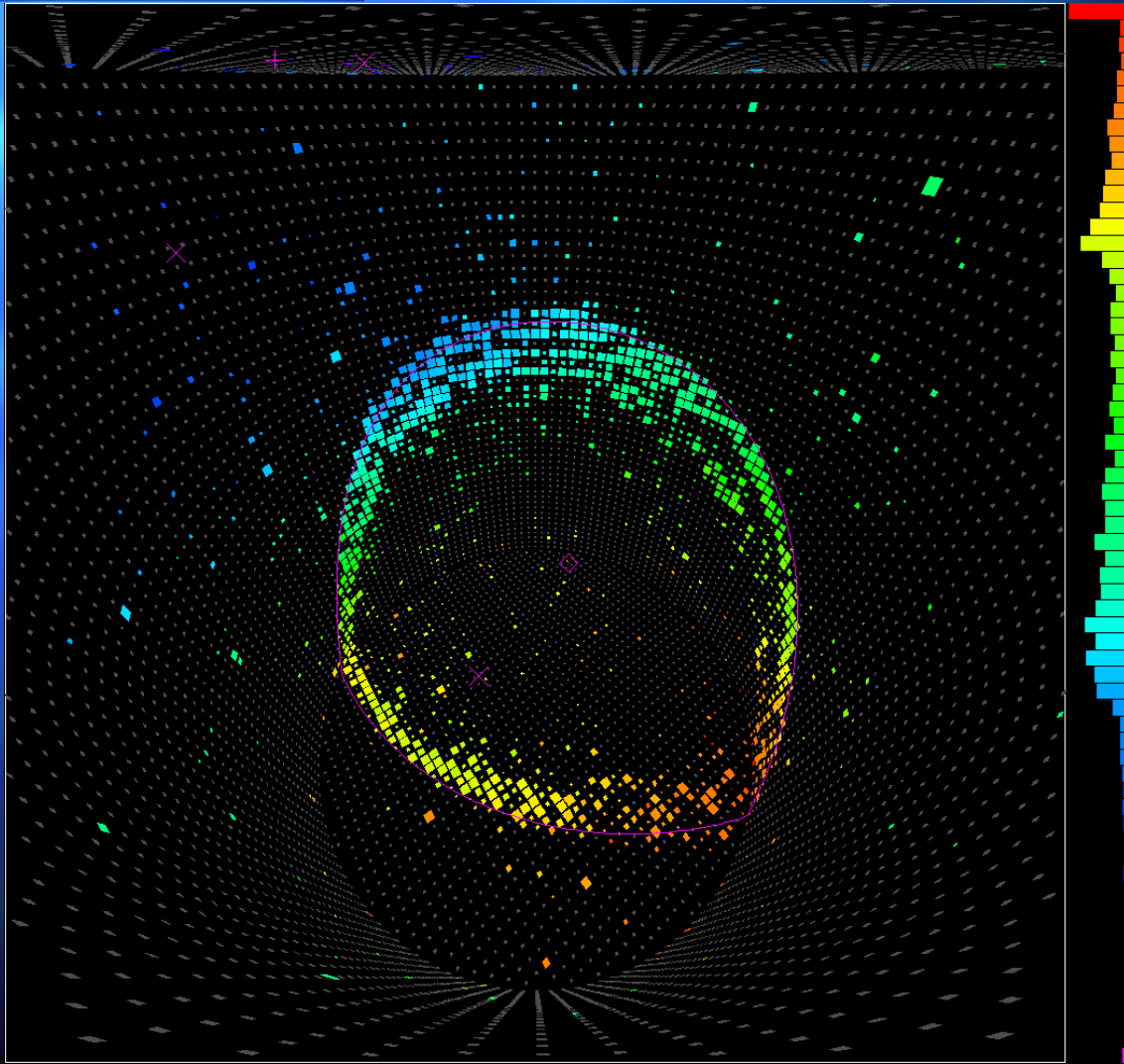
Raios X



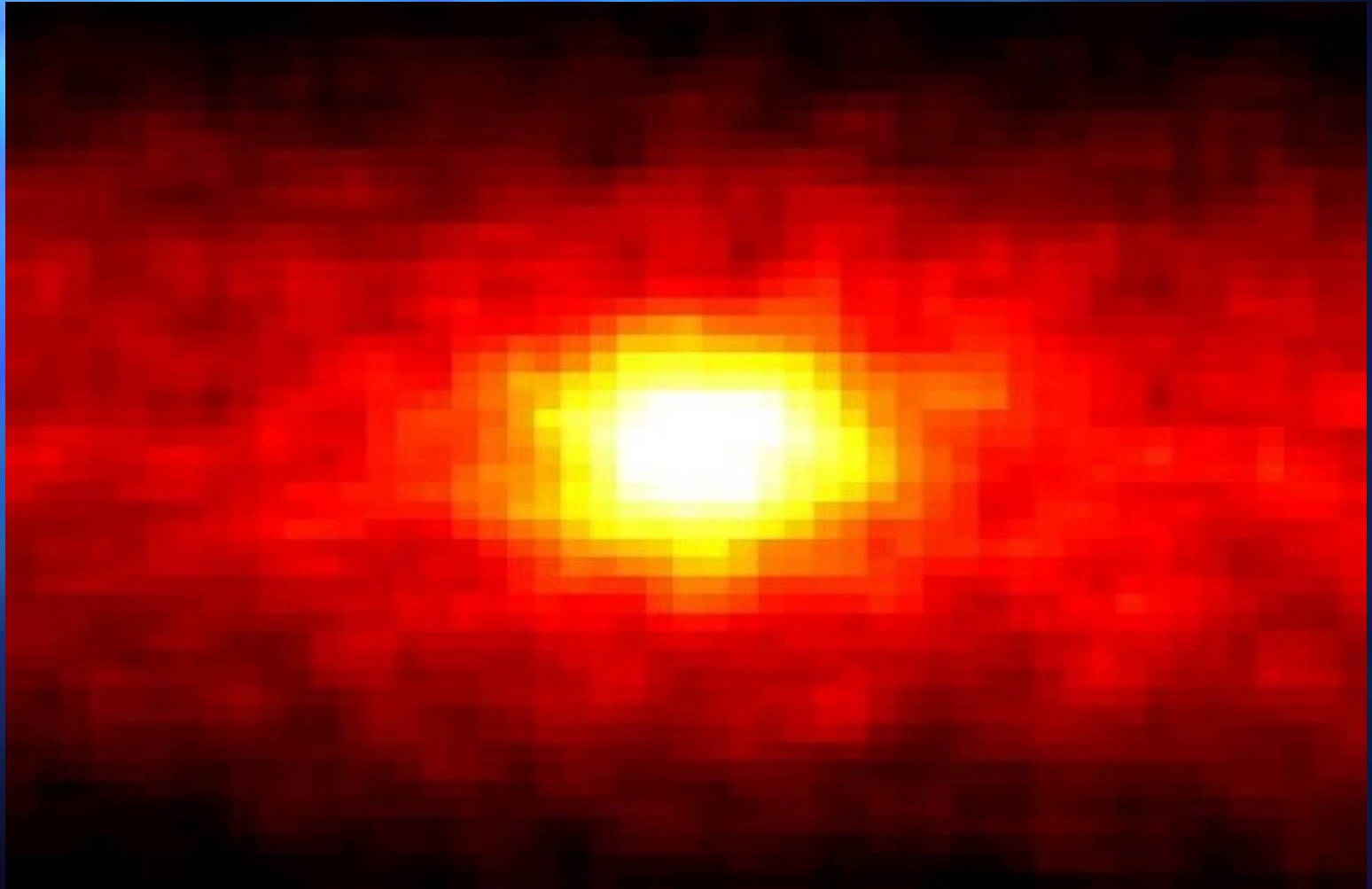
Radiação ultra-violeta



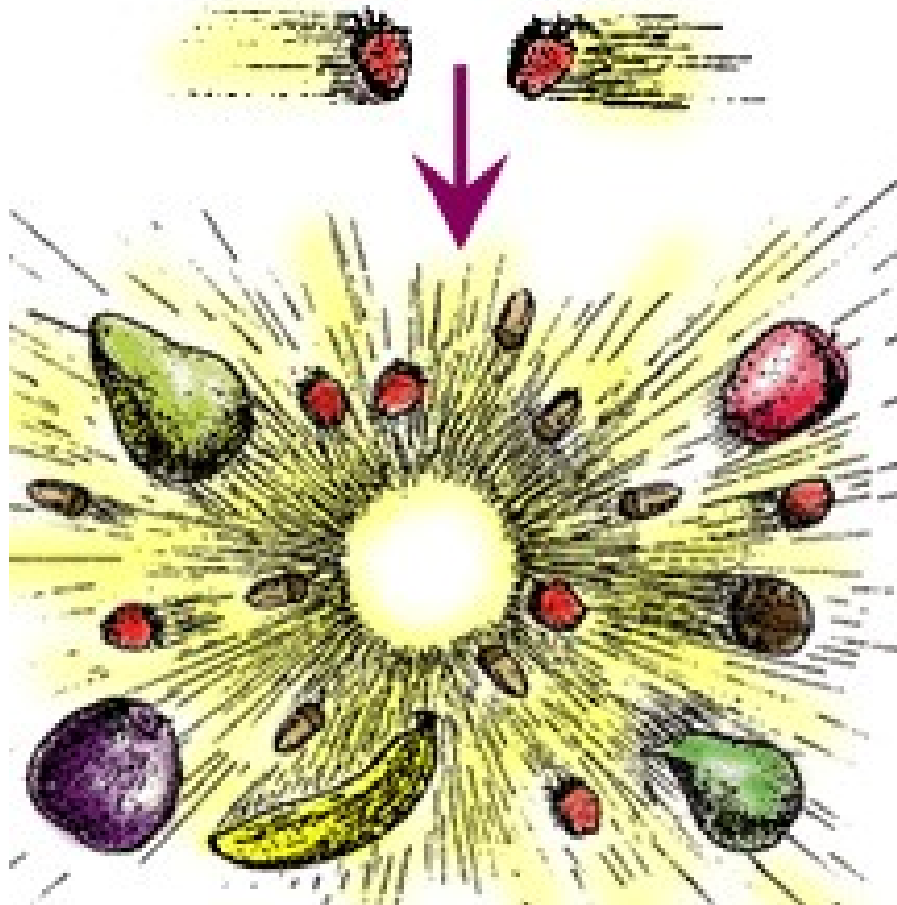
O Sol, visto através dos neutrinos



O Sol, visto através dos neutrinos



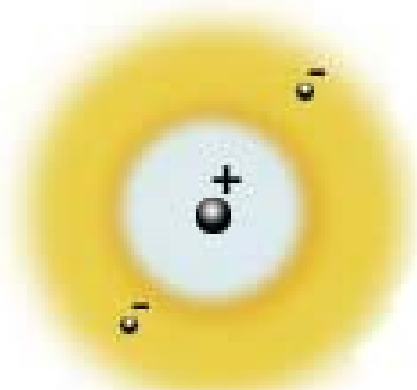
O que fazem os aceleradores?



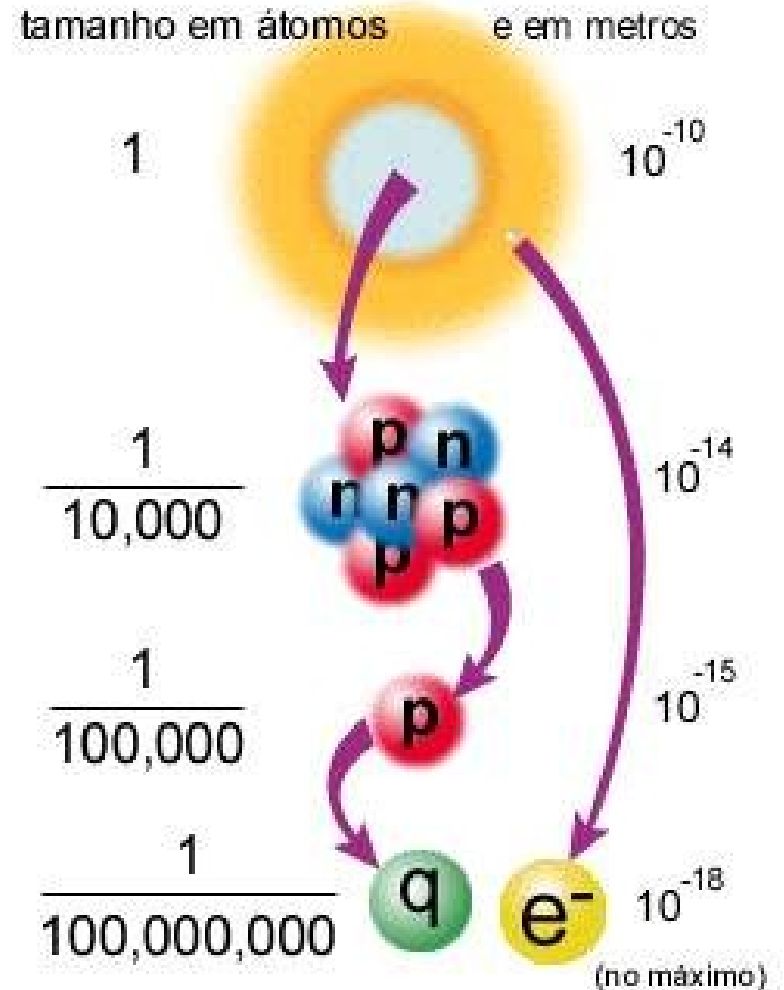
O que sabemos?



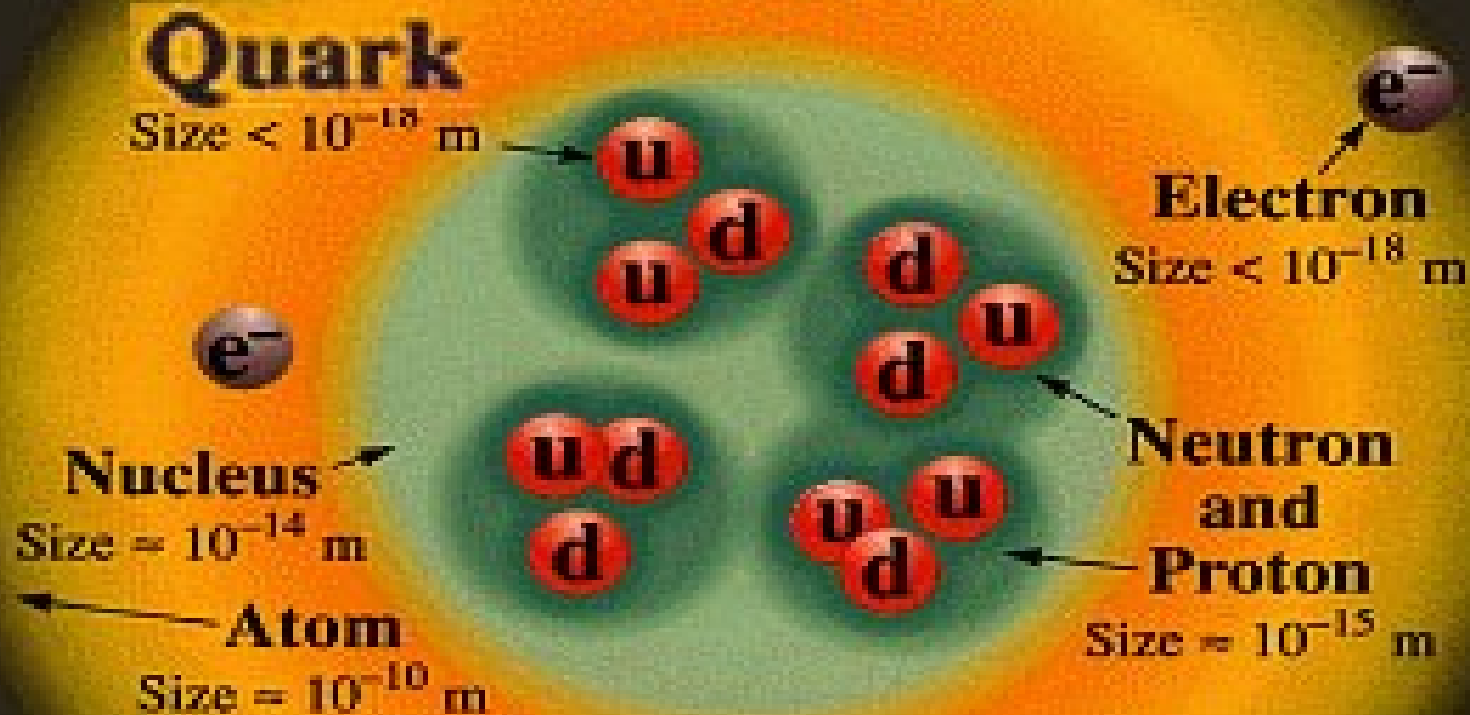
1900



Dias Atuais
(Eu sou o mais recente
Modelo Atômico)



Structure within the Atom



If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

O Modelo Padrão: Quarks

$\left(\frac{2}{3}\right)$ up 	$\left(\frac{2}{3}\right)$ charmoso 	$\left(\frac{2}{3}\right)$ top 
 down $\left(-\frac{1}{3}\right)$	 estranho $\left(-\frac{1}{3}\right)$	 bottom $\left(-\frac{1}{3}\right)$

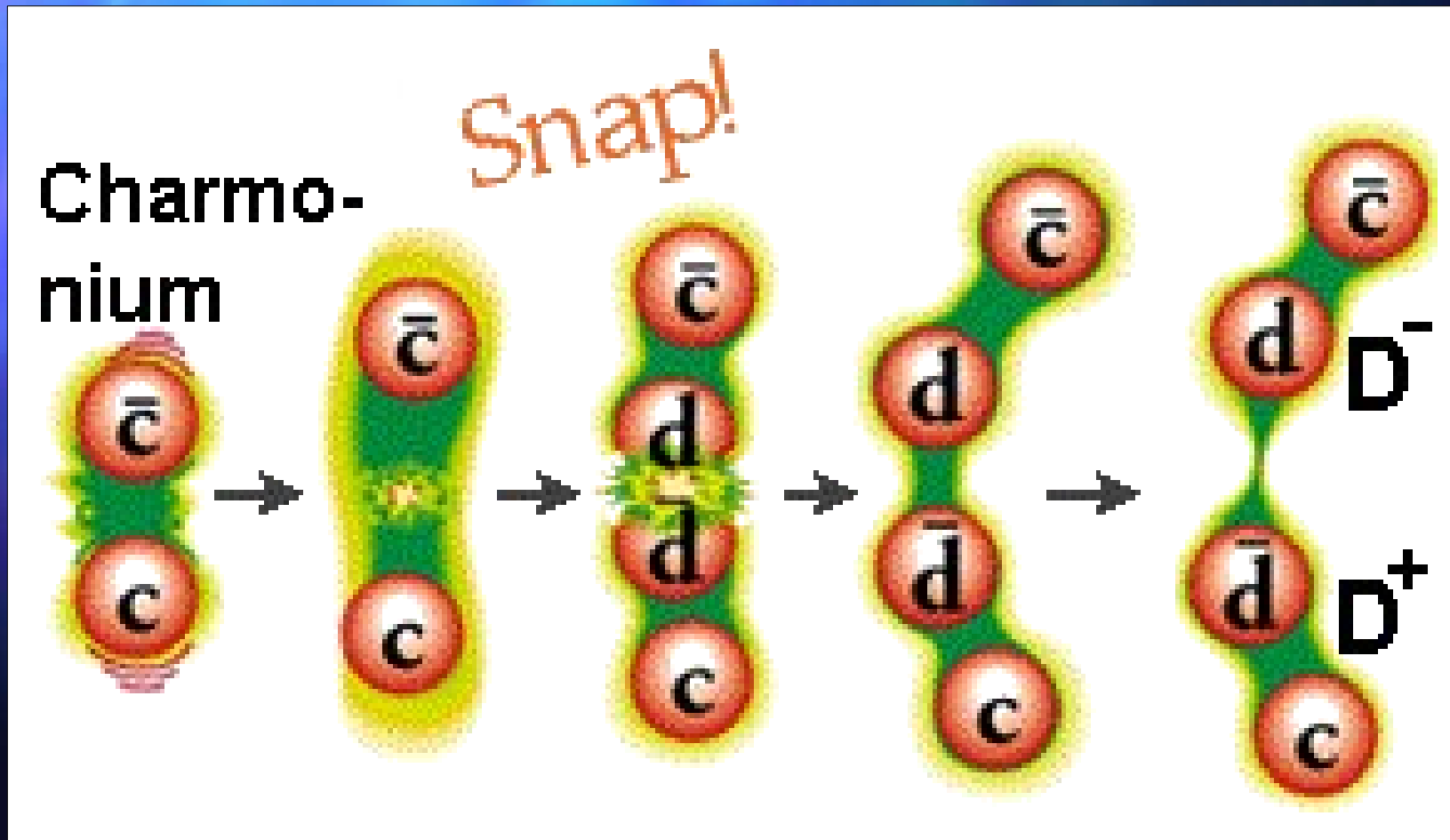
Quarks não são vistos por aí!

Analogia: o paradoxo do gato + pão

- os gatos sempre caem de pé.
- o pão sempre cai com a manteiga para baixo.
- e se amarrássemos um pão com a manteiga para cima nas costas de um gato, e jogássemos este par pão-gato ao chão?

Resposta da física de partículas: a energia desta configuração é tão alta que um par gato-pão é formado, compondo dois sistemas que podem cair sem violar as leis fundamentais.

Quarks não são vistos por aí!



Outra analogia: quantas cores tem
no arco-íris?



é pegadinha...

Outra analogia: quantas cores tem no arco-íris?

- o arco-íris emite em todas as frequências do visível.
- mas temos somente três tipos de células sensíveis à cor no olho, sensíveis ao azul, vermelho ou verde.
- o fato de nosso “equipamento” ser quantizado nos dá a impressão de discretização da luz do arco-íris.
- o branco é a excitação de todas as células juntas.

Quarks vêm em 3 “cores”

- Também os quarks vem em 3 qualidades diferentes.
- Experimentos enxergam uma quantização da massa do próton ou núcleo.

Quarks vêm em 3 “cores”

- Também os quarks vem em 3 qualidades diferentes.
- Experimentos enxergam uma quantização da massa do próton ou núcleo.
- Todas as partículas compostas por quarks encontram-se em um estado onde esta nova qualidade aparece em uma das seguinte formas:
 - 3 quarks, cada um de uma qualidade → bárions
 - 2 quarks, formando qualidade-antiquidade → mésons

Quarks vêm em 3 “cores”

- Também os quarks vem em 3 qualidades diferentes.
- Experimentos enxergam uma quantização da massa do próton ou núcleo.
- Todas as partículas compostas por quarks encontram-se em um estado onde esta nova qualidade aparece em uma das seguinte formas:
 - 3 quarks, cada um de uma qualidade → bárions
 - 2 quarks, formando qualidade-antiquidade → mésons

Nome para essa qualidade: cor!

red, blue, green

Quarks vêm em 3 “cores”

- Também os quarks vem em 3 qualidades diferentes.
- Experimentos enxergam uma quantização da massa do próton ou núcleo.
- Todas as partículas compostas por quarks encontram-se em um estado onde esta nova qualidade aparece em uma das seguinte formas:
 - 3 quarks, cada um de uma qualidade → bárions
 - 2 quarks, formando qualidade-antiquidade → mésons

Nome para essa qualidade: cor!

red, blue, green

Partículas compostas são “brancas”

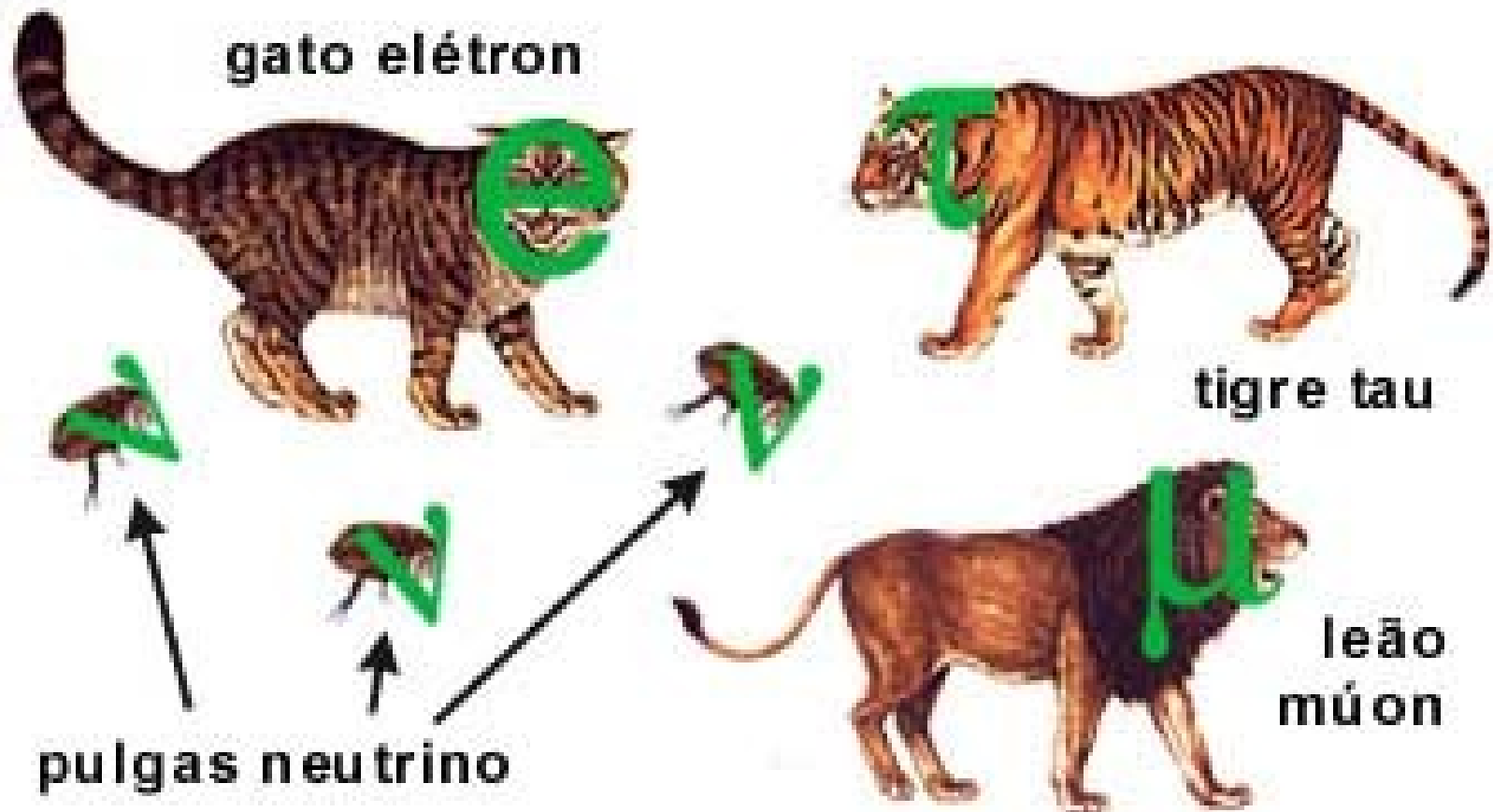
Mais partículas

báron	componentes de quarks	carga	massa
0	uuu, uud, udd, ddd	+2, +1, 0, -1	1232
	uus, uds, dds	+1, 0, -1	1385
x	uss, dss	0, -1	1533
x	sss	-1	1672
méson	componentes de quarks	carga	massa
π^+	ud	+1, -1	139,569
π^0	$(uu - dd)/\sqrt{2}$	0	134,964
π^-	us	+1, -1	493,67
ρ^0	ds	0	497,72
	uu+dd-2ss	0	548,8
$\rho^\pm$	uu+dd+ss	0	957,6
D	cd	+1, -1	1869
D ⁰	cu	0	1865
F	cs	+1, -1	1971
B	ub	+1, -1	5271
B ⁰	db	0	5275
η_c	cc	0	2981
@	ud	+1, -1, 0	770
K*	us	+1, -1, 0	892
@	$(uu+dd)/\sqrt{2}$	0	783
@	ss	0	1020
I/@	cc	0	3097
D*	cd, cu	+1, -1, 0	2010
@	bb	0	9460



César Lattes: descobridor do méson Pi e um dos fundadores do Instituto de Física da UNICAMP

O Modelo Padrão: Léptons



A matéria é feita por quarks e léptons!

Léptons	ν_e e- Neutrino	ν_μ μ - Neutrino	ν_τ τ - Neutrino
	e elétron	μ muon	τ tau
I II III			
A Geração da Matéria			

Quarks	u up	c charmoso	t top
	d down	s estranho	b bottom

Agradecemos ao Fermilab pelo uso desta imagem.

Como as partículas interagem entre si?

- Gravidade: todas as partículas (até as sem massa)

Partículas mediadoras: grávitons

- Interação eletro-fraca

→ interações eletromagnéticas: partículas carregadas.

Partículas mediadoras: fótons

→ interação fraca: quarks e léptons.

Partículas mediadoras: W e Z

- Forte: quarks

Partículas mediadoras: glúons

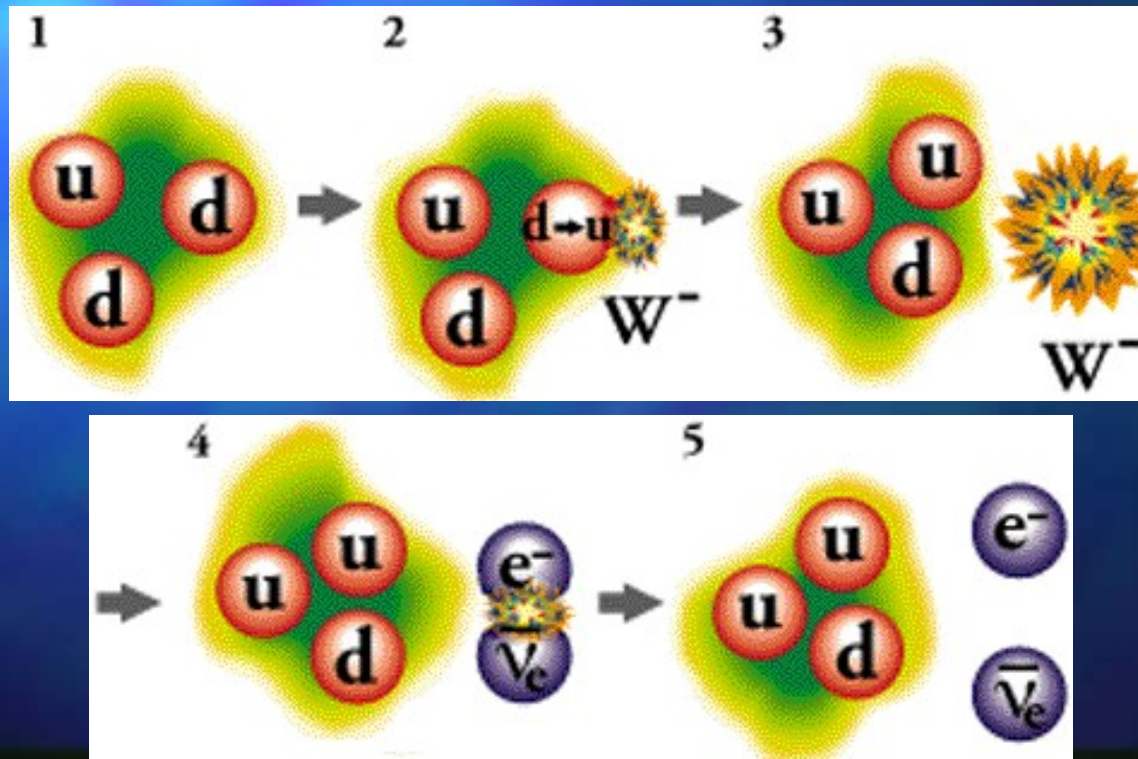
O Modelo Padrão: Interações



	Gravidade	Fraca (Eletrofraca)	Eletromagnética	Forte
Transpor- tada por :	Gráviton (ainda não observado)	$w^+ w^- z^0$	Fóton	Glúon
Atua em:	TODAS	Quarks e Léptons	Quarks e Léptons carregados $w^+ w^- z^0$	Quarks e Glúons

Exemplos de interações no Modelo Padrão

Decaimento beta (β): $n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$



O Modelo Padrão

quarks

SABOR	CARGA
d	-1/3
u	+2/3
s	-1/3
c	+2/3
b	-1/3
t	+2/3

léptons

SABOR	CARGA	MASSA (MeV)
e	-1	0.511
ν_e	0	?
μ	-1	105.659
ν_μ	0	?
τ	-1	1784
ν_τ	0	?

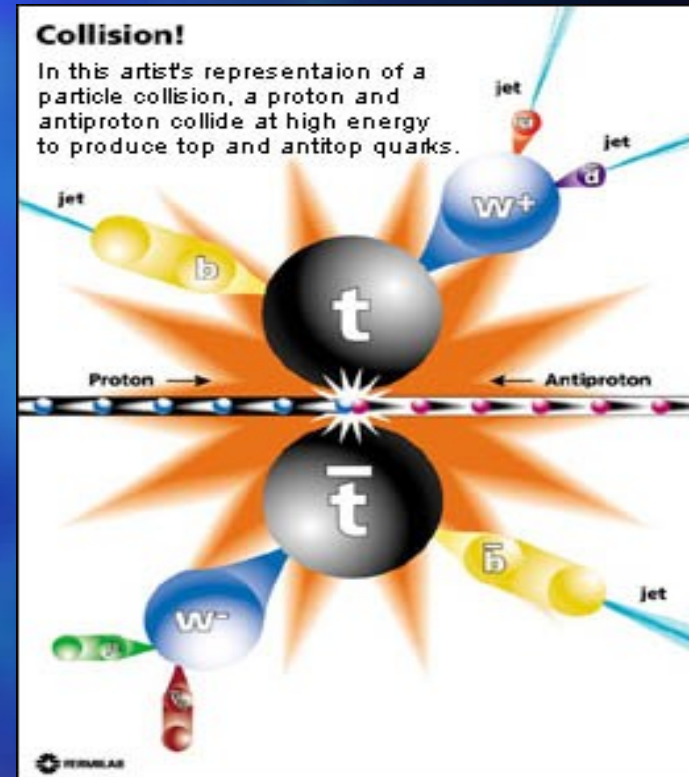
próton: uud (carga = $+2/3 + 2/3 - 1/3 = 1$)

nêutron: udd (carga = $+2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$)

mediadores de força:

MEDIADOR	CARGA	MASSA	FORÇA
glúon	0	0	forte
fóton	0	0	eletro-magnética
W	+1	81.800	fraca
Z	0	92.600	fraca

E mais suas antipartículas!!



Mas falta um detalhe: o Higgs

- O Modelo Padrão sugere que as partículas adquirem massa através de uma interação com uma outra partícula, o bóson de Higgs

Mas falta um detalhe: o Higgs

- O Modelo Padrão sugere que as partículas adquirem massa através de uma interação com uma outra partícula, o bóson de Higgs
- Probleminha: o modelo não prevê exatamente sua massa, dá somente pistas de onde procurá-lo.
- O prof. Jun Takahashi vai mostrar onde vai ser feita esta procura...

Mas falta um detalhe: o Higgs

- O Modelo Padrão sugere que as partículas adquirem massa através de uma interação com uma outra partícula, o bóson de Higgs
- Probleminha: o modelo não prevê exatamente sua massa, dá somente pistas de onde procurá-lo.
- O prof. Jun Takahashi vai mostrar onde vai ser feita esta procura...
 - Se o LHC encontrar o Higgs, SUCESSO!
 - Se não encontrar, continua-se a busca...

Comentários Finais:

Temos hoje uma visão bastante sofisticada sobre a estrutura íntima da matéria: o Modelo Padrão Das Partículas Elementares! Acreditamos também que o Modelo Padrão não deve ser a verdade última:

**A aventura pelo mundo das
Partículas Elementares
continua!**