



MASTERCLASS 2008

SPRACE

Centro Regional de Análise de São Paulo

Programa

- ◉ Do que o mundo é feito:
As partículas e suas interações
- ◉ Explorando o mundo subatômico:
Aceleradores e detectores
- ◉ Um pouco de história:
Descobertas do último século
- ◉ O Large Electron Positron Collider e o Z
- ◉ Exercício MasterClass:
Identificando eventos no decaimento do Z

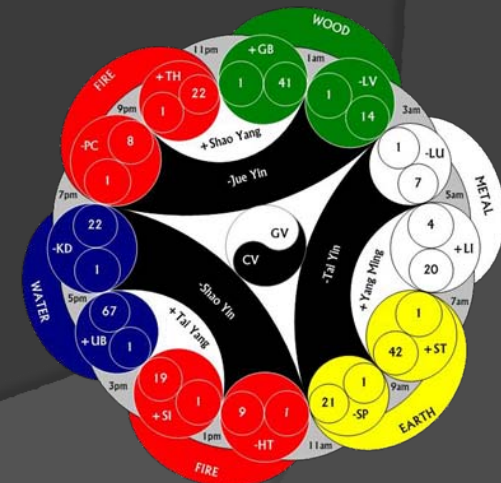
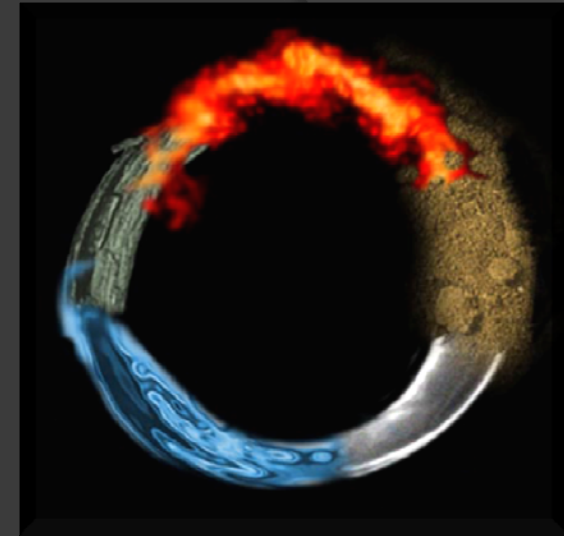
Parte 1

Do que o mundo é feito: As partículas e suas interações

Do que é feito o Universo?

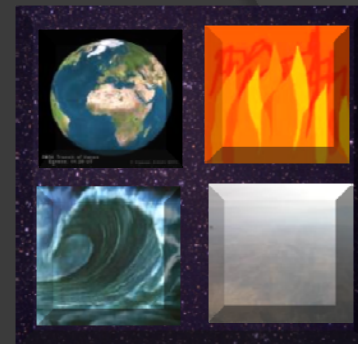
○ China Antiga

- "Teoria dos 5 Elementos" :
 - metal, madeira, água, fogo e terra → constituiriam toda a matéria do universo.
 - ~ 5.000 anos atrás (reino de Huang Di)
 - Citados no livro Shang Shu ou Shu Jing ("O Livro de História), um dos 6 clássicos compilados por Confúcio.
 - Descrição via cinco elementos → anterior à criação dos caracteres da escrita chinesa.
 - Antiga mas não corresponde à realidade!



Do que é feito o Universo?

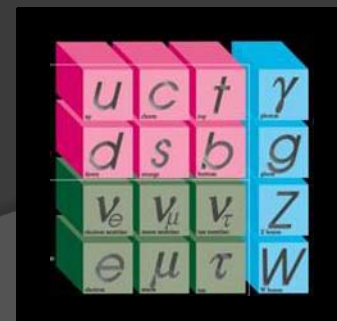
- Empédocles (490-430 AC)
 - Modelo **simples e econômico**
 - Pena que esteja **errado!**



- Mendeleiev (1834-1907)
 - Está **correto**
 - Pena que seja muito **complicado!**

A standard periodic table of elements. The groups are color-coded: IA (yellow), IIA (orange), IIIA (green), IVA (light green), VA (light blue), VIA (blue), VIIA (purple), and VIII (pink). The lanthanide and actinide series are shown at the bottom.

- Partículas Elementares (Sec. XX)
 - Simples**
 - Correto** (até o momento)



ESTRUTURA ELEMENTAR DA MATÉRIA

PARTÍCULAS MEDIADORAS

Interação Eletromagnética
FÓTON
Interação Fraca
W^+ Z^0 W^-
Interação Forte
GLÚON
Interação Gravitacional
GRÁVITON

QUARKS

u up	c charm	t top
d down	s strange	b bottom

LÉPTONS

ν_e neutrino e	ν_μ neutrino μ	ν_τ neutrino τ
e elétron	μ múon	τ tau

Léptons

Léptons são partículas que interagem por meio das interações eletromagnética e fraca. Há três famílias de léptons, cada uma composta por um lépton carregado, que interage eletromagnética e fracamente, e por um neutrino, que interage apenas fracamente.

Os **elétrons** (e) são estáveis e compõem a eletrosfera que envolve o núcleo dos átomos, sendo os responsáveis pelas ligações químicas entre os elementos. Em movimento, produzem a corrente elétrica e geram campos magnéticos. Os léptons **múon** (μ) e **tau** (τ) possuem características similares às do elétron, mas são muito mais pesados e instáveis, decaindo rapidamente em partículas mais leves.

Os **neutrinos** (ν) são extremamente leves, não possuem carga elétrica e interagem muito fracamente, a ponto de serem capazes de atravessar toda a Terra sem se chocar com nenhuma partícula. São produzidos em decaimentos nucleares e na fusão nuclear que ocorre no Sol; são responsáveis pelo seu brilho.

Quarks

Quarks são partículas que interagem por meio das interações eletromagnética, fraca e forte, e possuem carga elétrica fracionária (+2/3 e -1/3), além das "cargas de cor" relativas à interação forte. Eles formam os hádrons (três quarks ou um quark e um antiquark) e permanecem confinados dentro deles, não sendo observados em estado livre.

Os quarks da primeira família, **up** (u) e **down** (d), formam os prótons (uud) e nêutrons (udd) e, portanto, toda a matéria usual, além de diversos mésons, como o pión π^+ (u \bar{d}) e o káon K^0 (d \bar{s}).

As outras duas famílias de quarks, compostas pelo **strange** (s) e **charm** (c), e pelo **bottom** (b) e **top** (t), não formam a matéria usual, sendo apenas produzidas como resultado de colisões entre outras partículas.



Interação Eletromagnética (γ)

O fóton (γ) é o quantum do campo eletromagnético. Toda radiação eletromagnética, desde as ondas de rádio e televisão, passando pela luz visível, até os raios ultravioleta e gama, é formada por fótons. Partículas sem massa ou carga, os fótons são responsáveis pela transmissão da interação entre as partículas eletricamente carregadas.

Interação Gravitacional (G)

A interação gravitacional atua sobre todas as partículas e seria intermediada pelo gráviton. No entanto, no mundo subatômico, ela não tem nenhuma influência, já que ela é uma centena de milhão de milhão de milhão de milhão de milhão (10^{-39}) de vezes mais fraca que as outras três interações.

Interação Fraca (W e Z)

A **interação fraca** é intermediada pelos bósons carregados W^+ e W^- e pelo bóson neutro Z^0 . A interação fraca é de curtíssimo alcance, agindo em distâncias 1.000 vezes menores que o núcleo atômico, sendo 10.000 mais fraca que a interação eletromagnética. A interação fraca afeta tanto léptons como quarks e é responsável pelo decaimento beta, quando um nêutron se transforma em um próton, emitindo um elétron e seu antineutrino. Ela também desempenha importante papel na geração da energia das estrelas como o Sol.

Interação Forte (g)

O glúon (g) desempenha para a **interação forte** papel semelhante ao dos fótons para a interação eletromagnética. Eles são trocados entre partículas que possuem "cargas de cor", como os quarks. As três "cores" são as "cargas fortes" equivalentes às cargas elétricas positiva e negativa. A interação forte é 100 vezes mais intensa que a interação eletromagnética e seu alcance não vai além do núcleo atômico. Ela é responsável por manter os quarks ligados, formando prótons e nêutrons, e seu efeito residual de longa distância mantém prótons e nêutrons unidos, formando o núcleo atômico.

Antipartículas

Toda partícula possui sua antipartícula, com mesma massa e spin, mas com carga oposta. Para diferenciar as antipartículas das partículas, as correspondentes antipartículas são denotadas com uma barra sobre seu símbolo ou então pela troca de carga (+ \leftrightarrow -). A matéria formada por antipartículas é chamada de antimatéria.

Para obter mais informações sobre os conceitos apresentados neste cartaz, acesse o site:

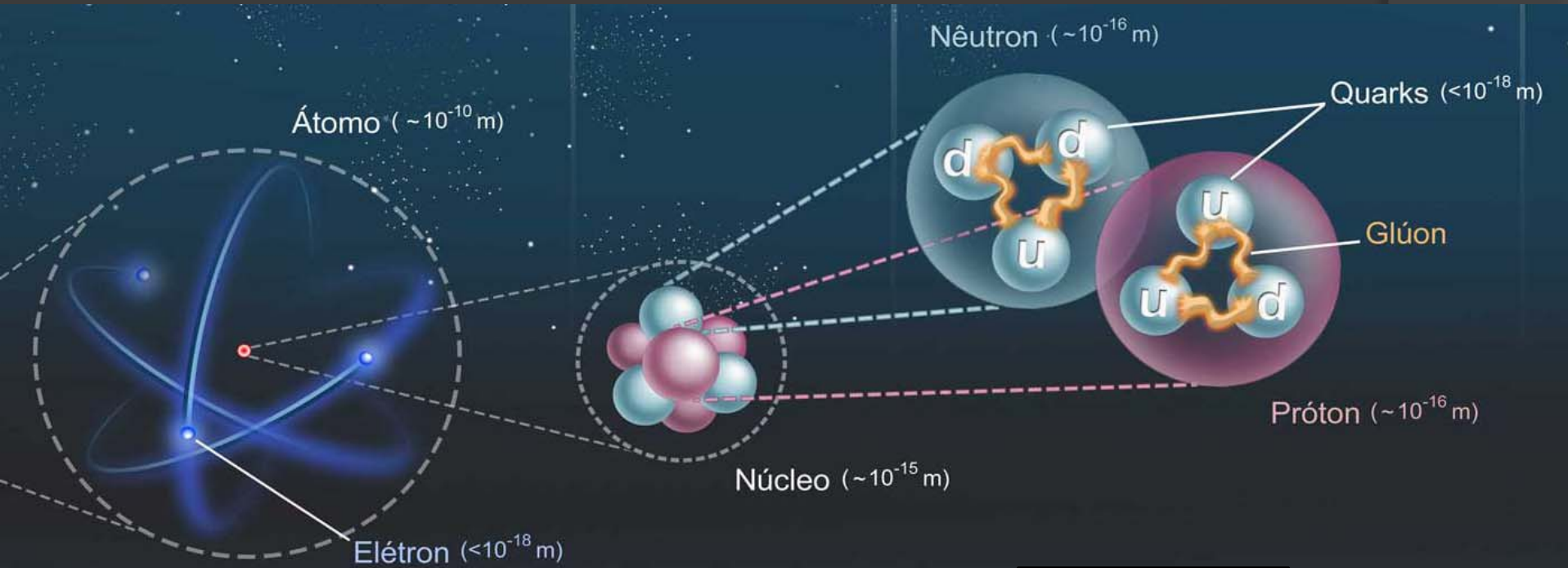
<http://www.sprace.org.br/eem/>

Se você quiser fazer perguntas sobre o tema para especialistas na área ou discutir com seus colegas, acesse o Fórum de Discussão no site:

<http://www.sprace.org.br/forum/>



Do Átomo aos Quarks

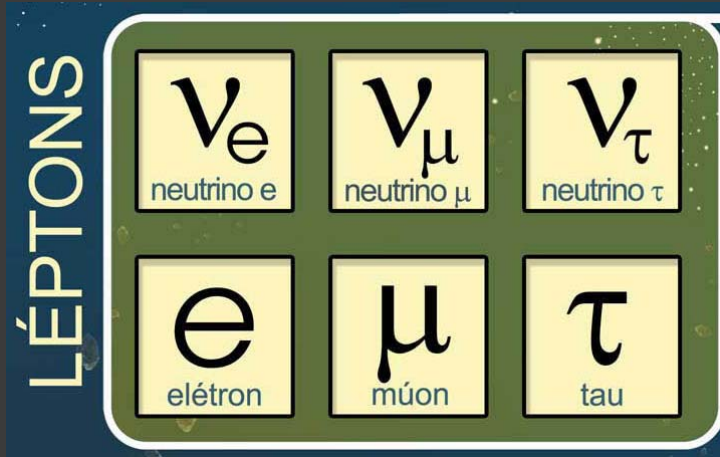


IA	IIA																III A	IV A	V A	VIA	VIIA	0
1	2																3	4	5	6	7	8
2	3																4	5	6	7	8	
3	4																5	6	7	8	9	
4	5																6	7	8	9	10	
5	6																7	8	9	10	11	
6	7																8	9	10	11	12	
7	8																9	10	11	12		
*Lanthanide Series																						
†Actinide Series																						

10⁻⁹



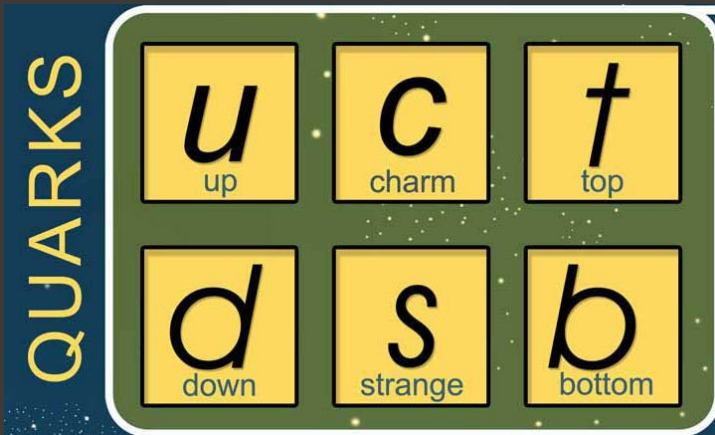
Férmions: Léptons



Sabor	Massa (Gev)	Carga
Neutrino Leve	$(0-0,13) \times 10^{-9}$	0
Elétron	0,000511	-1
Neutrino Médio	$(0,009-0,13) \times 10^{-9}$	0
Múon	0,106	-1
Neutrino Pesado	$(0,04-0,14) \times 10^{-9}$	0
Tau	1,777	-1

- Elétron:
 - 1897 Thomson
- Múon:
 - 1937 Neddermeyer, Anderson
- Tau:
 - 1975 Perl
- Neutrino do Elétron
 - 1956 Cowan, Reines
- Neutrino do Múon
 - 1962 Lederman
- Neutrino do Tau
 - 2000 DONUT Collab., Fermilab

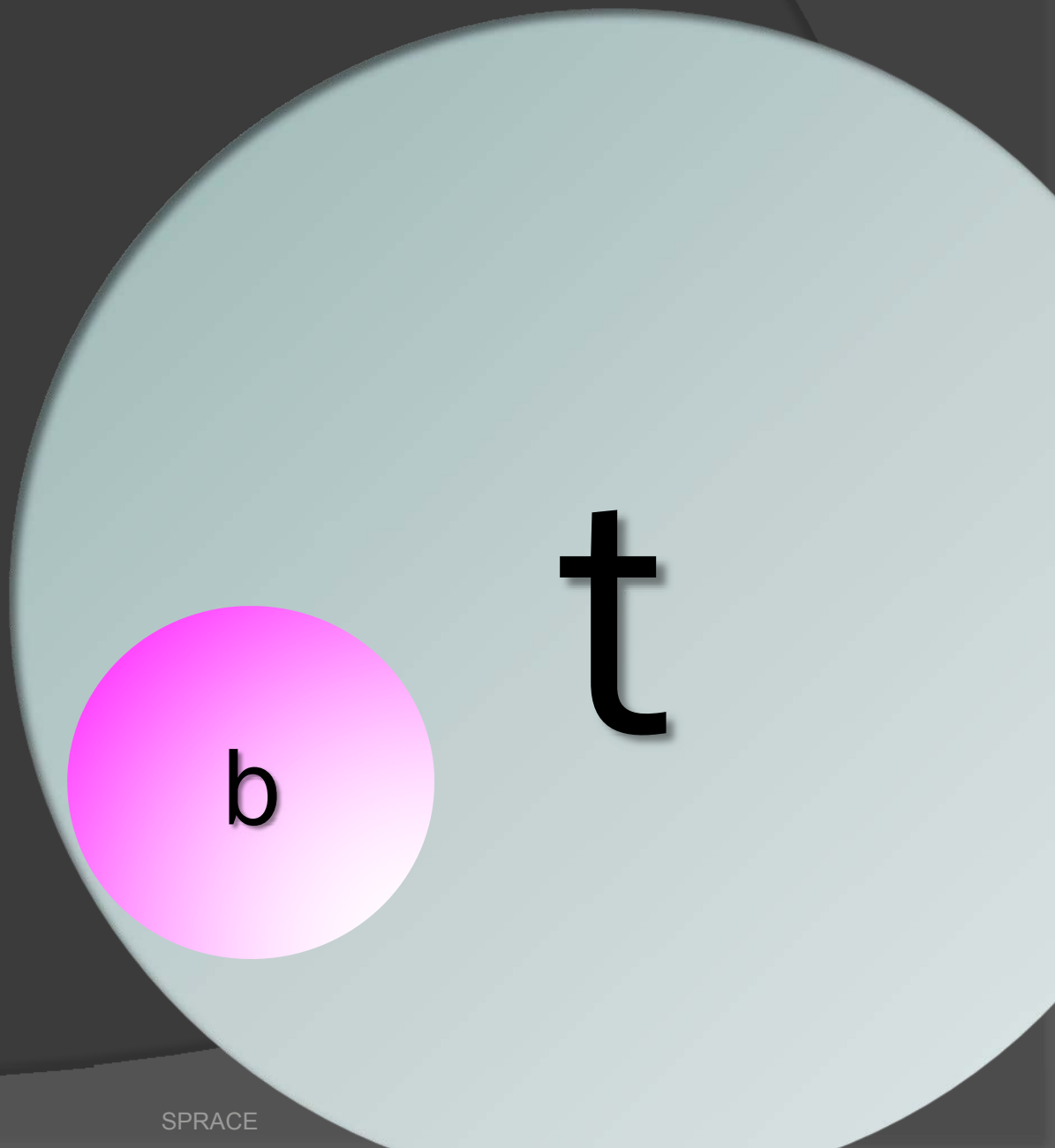
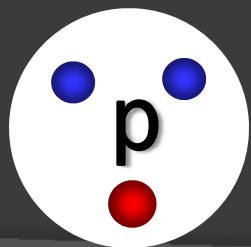
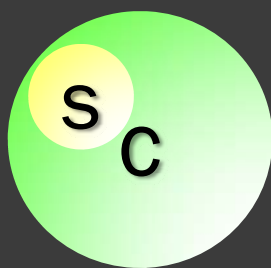
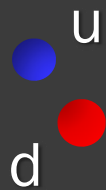
Férmions: Quarks



Sabor	Massa (Gev)	Carga
Up	0,002	2/3
Down	~ 0,005	-1/3
Charm	1,3	2/3
Strange	~ 0,1	-1/3
Top	173	2/3
Bottom	4,2	-1/3

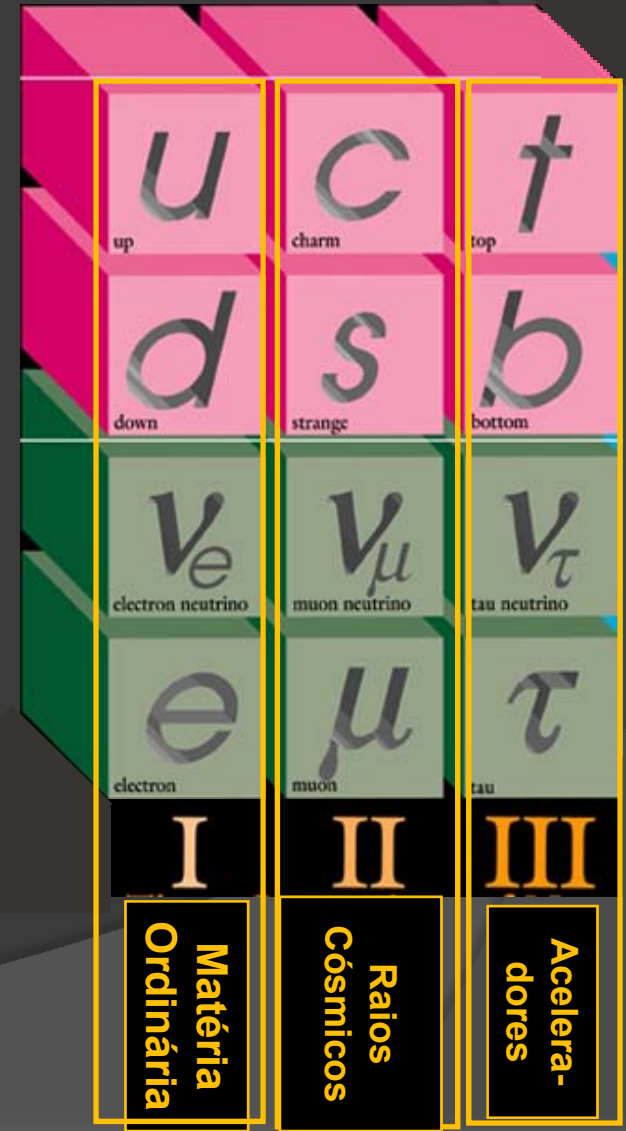
- Up, Down, Strange
 - 1964 Gell Mann
- Charm
 - 1974 Ting, Richter
- Bottom
 - 1977 Herb et al.
- Top
 - 1995 CDF, DØ

Massas

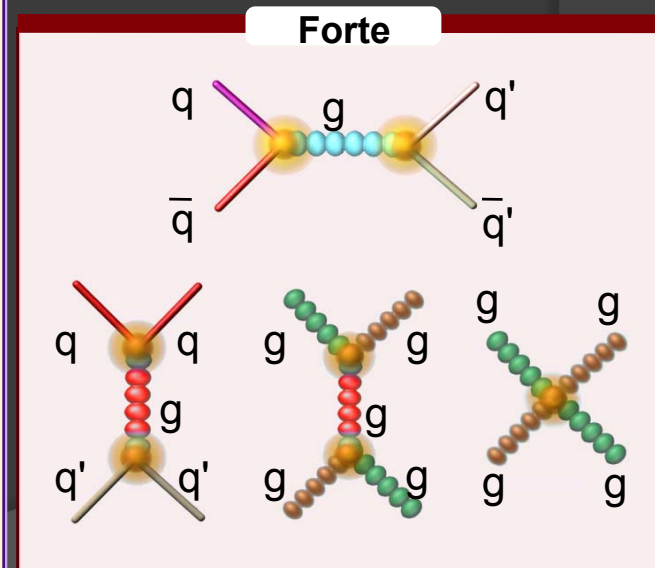
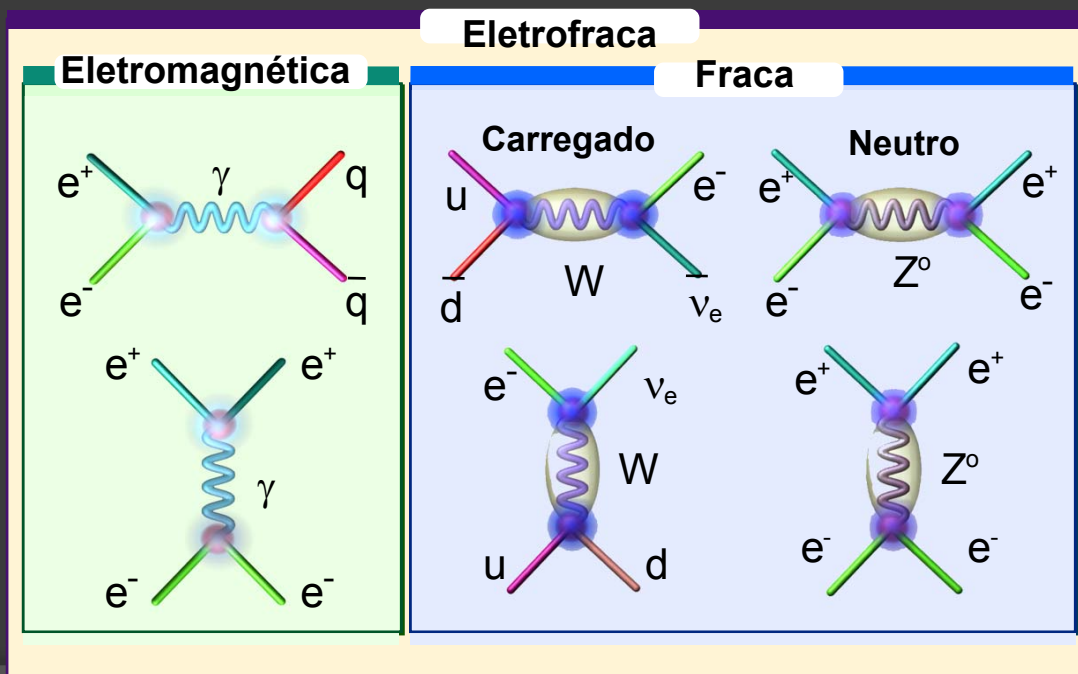


Famílias

- Os diferentes **sabores** aparecem em três **famílias**:
 - 2 Léptons por Família
 - 2 Quarks por Família
- Anti-partículas:
 - Mesma massa e spin
 - Carga, sabor, cor opostas
- Por que 3 Famílias?
 - Somente a primeira seria “suficiente”
 $p (uud) + n (udd) + e = \text{matéria usual}$



Propriedades	Gravitacional	Fraca	Eletromagnética	Forte
Atua em	Massa e Energia	Sabor	Carga Elétrica	Carga de Cor
Partículas que sentem	Todas	Quarks e Léptons	Partículas Carregadas	Quarks e Glúons
Partículas Intermediárias	Gráviton (?)	W^+ Z^0 W^-	γ	Glúons
Intensidade a $\sim 10^{-17}$ m	10^{-41}	10^{-4}	1	60
Alcance	Infinito	10^{-18} m	Infinito	10^{-15} m



Bósons Intermediários

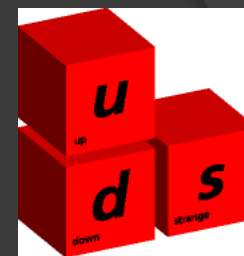


- Fóton
 - 1923 Compton
- W e Z
 - 1983 UA1/2 Collab. (CERN)
- Glúon
 - 1979 MARKJ/TASSO/PLUTO/JADE (Desy)

Sabor	Massa (Gev)	Carga
Fóton	0	0
W ⁺	80,39	1
Z ⁰	91,19	0
W ⁻	80,39	-1
Glúon	0	0

Modelo a Quarks

● Murray Gell-Mann e George Zweig



- Introduziram o modelo a quarks:
 - Bárions (próton, nêutron, etc)
 - Mésons (píon, kaon, etc)
- **Compostos** de partículas mais fundamentais: **quarks**.
 - Três “sabores” de quarks: **u**p, **d**own e **s**trange.
 - Spin $\frac{1}{2}$ e carga $\frac{2}{3}$, $-\frac{1}{3}$ e $-\frac{1}{3}$.

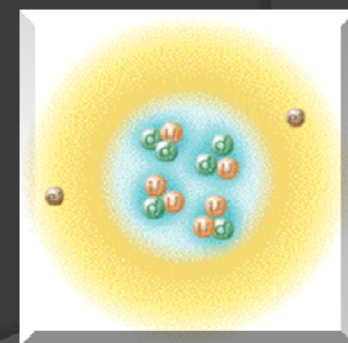
- Bárions: compostos de **3 quarks**:

próton = **u** + **u** + **d**

nêutron = **u** + **d** + **d**

- Mesons: compostos de um par **quark-antiquark**

píon = **\bar{u}** + **d**



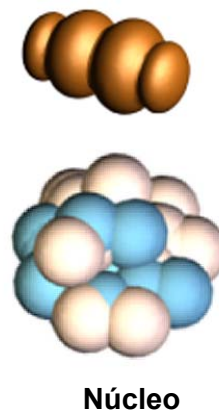
Resumo: Partículas e Interações

Léptons

	Carga Elétrica		
Tau	-1	0	Tau Neutrino
Muon	-1	0	Muon Neutrino
Elétron	-1	0	Elétron Neutrino

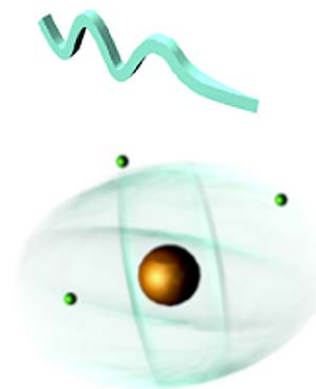
Forte

Gluons (8)



Eletromagnética

Fóton



Quarks

	Carga Elétrica		
Bottom	-1/3	2/3	Top
Strange	-1/3	2/3	Charm
Down	-1/3	2/3	Up

cada quark: R, B, G 3 cores

Gravitacional

Graviton ?

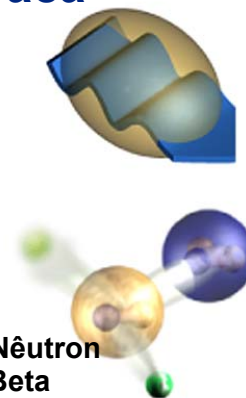
Sistema Solar
Galaxias
Buracos Negros



Fraca

Bosons (W,Z)

Decaimento do Nêutron
Radioatividade Beta
Interação dos Neutrinos
Brilho do Sol



Bárions: Férmions Compostos (qqq)

	Nome	Quarks	Carga	Massa (Gev)	Spin
p	próton	uud	+1	0,938	1/2
\bar{p}	antipróton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0,938	1/2
n	nêutron	udd	0	0,940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1,116	1/2
Ω	ômega	sss	-1	1,672	3/2

Mésons: Bósons Compostos (qq)

	Nome	Quarks	Carga	Massa (Gev)	Spin
π^+	píon	$u\bar{d}$	+1	0,140	0
K^-	káon	$s\bar{u}$	-1	0,494	0
ρ^+	rô	$u\bar{d}$	+1	0,776	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5,279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2,980	0

Algumas Questões em Aberto



⦿ Matéria X Antimatéria

- Apesar de terem sido criadas em igual quantidade no início do universo, porque vemos praticamente **apenas matéria** atualmente?



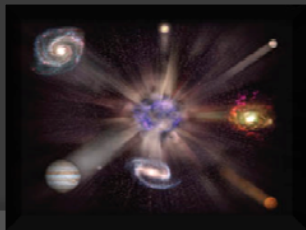
⦿ Origem da Massa

- Seria possível compreender de forma mais profunda a **origem da massa** de todas as partículas? Seria realmente o mecanismo de Higgs o responsável por essa massa?



⦿ Matéria Escura e Energia Escura

- Uma forma invisível de matéria domina a matéria observada nas galáxias e clusters. Seria constituída de um **novo tipo de partículas**?



⦿ Universo em Aceleração

- A expansão do Universo parece estar acelerando. Existira uma **nova interação** ou dimensões extras do espaço?