
Física Moderna II

Aula 17

Marcelo G. Munhoz

munhoz@if.usp.br

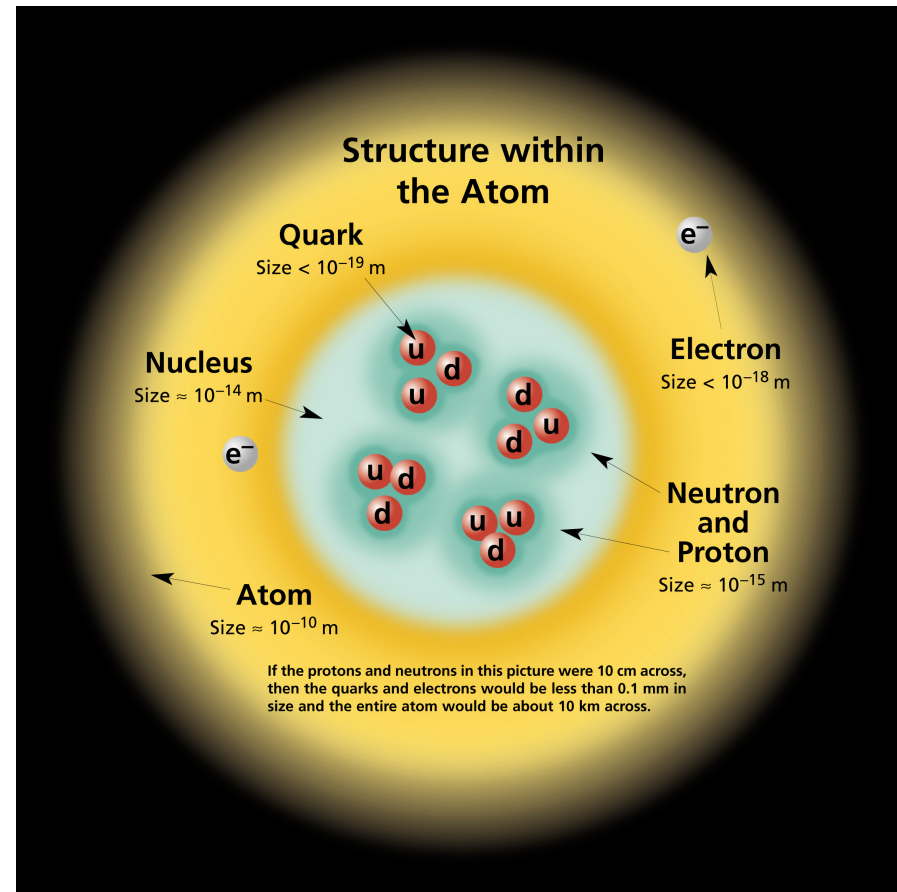
Lab. Pelletron, sala 245

ramal 6940

Do que todas as coisas são feitas?

If, in some cataclysm, all scientific knowledge were to be destroyed, and only one sentence passed on to the next generation of creatures, what statement would contain the most information in the fewest words? I believe it is the atomic hypothesis (or atomic fact, or whatever you wish to call it) that all things are made of atoms

Richard Feynman



Origens dos estudos modernos dos constituintes mais elementares da matéria

1895 - Rontgen descobre os raios-X

1896 - Becquerel descobre a radioatividade

1909 - Rutherford identifica as partículas α como núcleos de ^4He

1911 - Rutherford propõem a existência do núcleo atômico

1914 - Modelo atômico de Bohr

1897 - J. J. Thompson descobre o elétron

Origens dos estudos modernos dos constituintes mais elementares da matéria

1932 - Chadwick descobre os
nêutrons

1932 - Primeira reação nuclear
usando um acelerador

1934 - Modelo do núcleo
composto de Bohr

1932 - Anderson descobre o
pósitron usando raios cósmicos

1935 - Yukawa propõem a
existência dos pions

Origens dos estudos modernos dos constituintes mais elementares da matéria

1932 - Chadwick descobre os
nêutrons

1932 - Primeira reação nuclear
usando um acelerador

1934 - Modelo do núcleo
composto de Bohr

1938 - Descoberta da fissão
nuclear

1932 - Anderson descobre o
pósitron usando raios cósmicos

1935 - Yukawa propõem a
existência dos pions

1937 - Anderson descobre “uma
radiação penetrante 200 vezes
mais pesada que o elétron”,
chamada de “meson”

Origens dos estudos modernos dos constituintes mais elementares da matéria

1939 - Modelo da gota-líquida é
proposto

1940 - Produção do primeiro
elemento transurânico

1947 - Lattes, Ochialini e Powel
descobrem o meson-pi e
identificam a radiação de
Anderson como sendo o “meson-
muon”

“Who ordered that?”

- O meson- π parecia ser a partícula de Yukawa;
- Com isso, “fechava-se” a teoria atômica;
- Porém, o meson- μ era um “filho indesejado” (segundo Gell-Mann) que abria um novo mistério a ser resolvido;
- Não tardou para novas partículas surgirem e “complicarem” a situação...

Origens dos estudos modernos dos constituintes mais elementares da matéria

1939 - Modelo da gota-líquida e
proposto

1940 - Produção do primeiro
elemento transurânico

1949 - Modelo de camadas é
proposto

1947 - Lattes, Ochialini e Powel
descobrem o meson-pion e
identificam a radiação de
Anderson como sendo o “meson-
muon”

1952-54 - Primeiros aceleradores
de partículas ($p+p$, e^-+e^+) de alta
energia (GeV)

Começa a surgir um “zoológico” de partículas !!

$$\tau \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$$

$$V_1^0 \rightarrow p \pi^-$$

$$\theta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$

$$\kappa \rightarrow \mu^+ \pi^0 \nu$$

$$\chi \rightarrow \pi^+ \pi^0$$

$$V^+ \rightarrow p \pi^0$$

“Young man, if I could remember the names of these particles, I would have been a botanist”

E. Fermi

O que são todas essas partículas? Elas são partículas elementares? Ou serão compostas de partículas mais fundamentais?

A solução está nas simetrias observadas...

<i>Spin $\frac{1}{2}$ Baryons</i>				<i>Spin 0 (Pseudoscalar) Mesons</i>			
<i>Baryons</i>	<i>I-Spin</i>	<i>Mass (MeV)</i>	<i>Name</i>	<i>Mesons</i>	<i>I-Spin</i>	<i>Mass (MeV)</i>	<i>Name</i>
p, n	$\frac{1}{2}$	939	nucleon	π^+, π^0, π^-	1	139	pion
Λ^0	0	1116	lambda	K^+, K^0	$\frac{1}{2}$	495	kaon
$\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$	1	1193	sigma	η^0	0	549	eta
Ξ^0, Ξ^-	$\frac{1}{2}$	1318	cascade*	$K^-, \bar{K}^0$	$\frac{1}{2}$	495	(anti)kaon
				η'^0	0	958	eta prime

O próton e o nêutron já demonstravam ser uma manifestação da invariância da força forte em relação a um número quântico: **isospin (I)**

Portanto : $I_z |p\rangle = 1/2 |p\rangle$

$$I_z |n\rangle = -1/2 |n\rangle$$

A solução está nas simetrias observadas...

<i>Spin $\frac{1}{2}$ Baryons</i>				<i>Spin 0 (Pseudoscalar) Mesons</i>			
<i>Baryons</i>	<i>I-Spin</i>	<i>Mass (MeV)</i>	<i>Name</i>	<i>Mesons</i>	<i>I-Spin</i>	<i>Mass (MeV)</i>	<i>Name</i>
p, n	$\frac{1}{2}$	939	nucleon	π^+, π^0, π^-	1	139	pion
Λ^0	0	1116	lambda	K^+, K^0	$\frac{1}{2}$	495	kaon
$\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$	1	1193	sigma	η^0	0	549	eta
Ξ^0, Ξ^-	$\frac{1}{2}$	1318	cascade*	$K^-, \bar{K}^0$	$\frac{1}{2}$	495	(anti)kaon
				η'^0	0	958	eta prime

Postulou-se, então, que o π teria o **isospin (I) = 1**, sendo as três cargas observadas manifestação desse número quântico

Portanto :

$$I_z | \pi^+ \rangle = +1 | \pi^+ \rangle$$

$$I_z | \pi^0 \rangle = 0 | \pi^0 \rangle$$

$$I_z | \pi^- \rangle = -1 | \pi^- \rangle$$

... e na hipótese de um novo número quântico: a “estranheza”

Acreditava-se que a carga de uma partícula era dada por

$$Q = I_z + 1/2 B$$

onde: B é o número bariônico

$B = 1$ para bárions (partículas mais pesadas)

$B = 0$ para mesons (partículas mais leves)

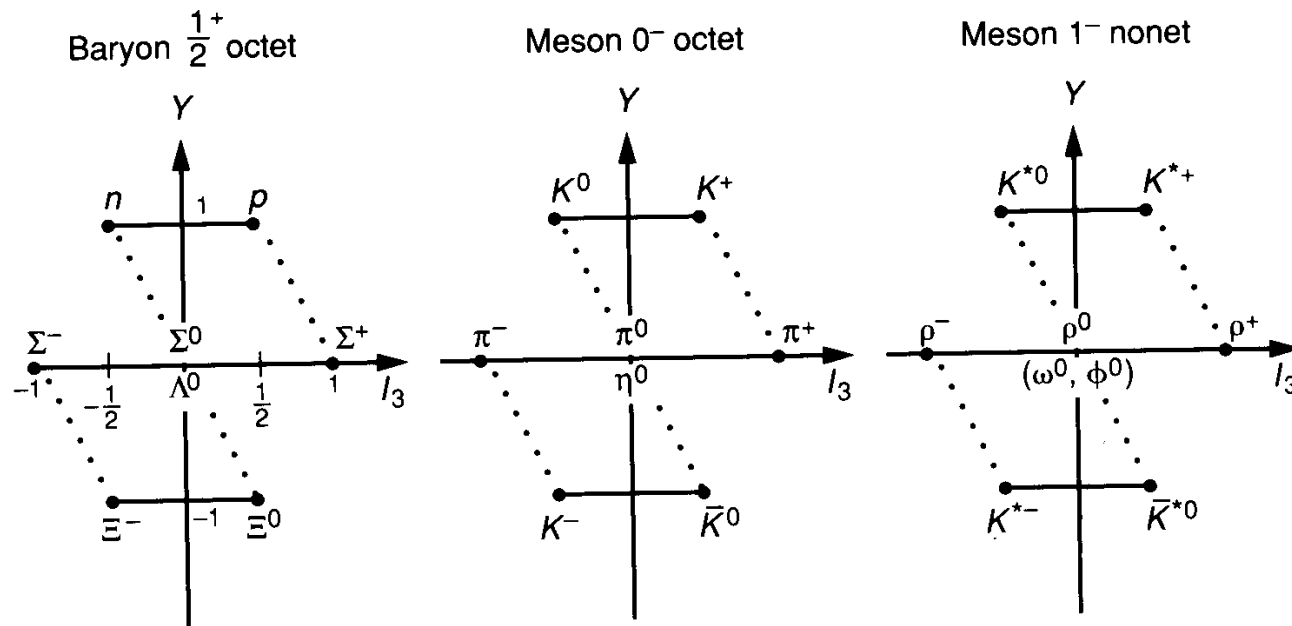
Para explicar a existência das novas partículas, foi preciso supor que:

$$Q = I_z + 1/2 Y$$

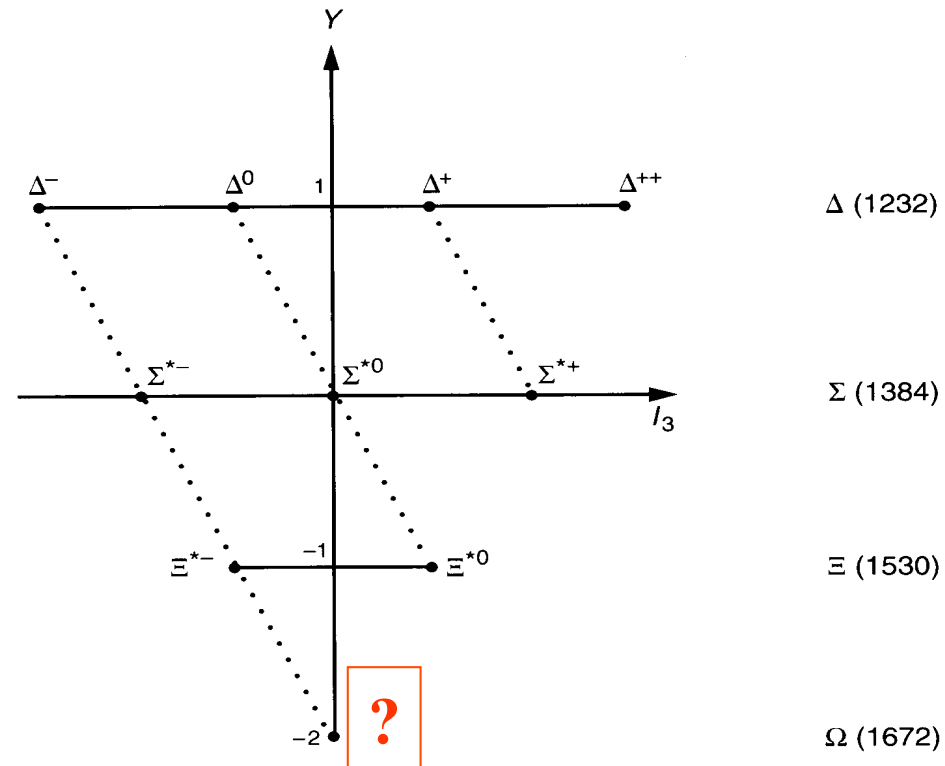
onde: $Y = B + S$ (“estranheza”)

Spin $\frac{1}{2}$ Baryons					Spin 0 (Pseudoscalar) Mesons				
Baryons	I-Spin	Mass (MeV)	Name	S	Mesons	I-Spin	Mass (MeV)	Name	S
p, n	$\frac{1}{2}$	939	nucleon	0	π^+, π^0, π^-	1	139	pion	0
Λ^0	0	1116	lambda	-1	K^+, K^0	$\frac{1}{2}$	495	kaon	+1
$\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$	1	1193	sigma	-1	η^0	0	549	eta	0
Ξ^0, Ξ^-	$\frac{1}{2}$	1318	cascade*	-2	$K^-, \bar{K}^0$	$\frac{1}{2}$	495	(anti)kaon	-1
					η'^0	0	958	eta prime	0

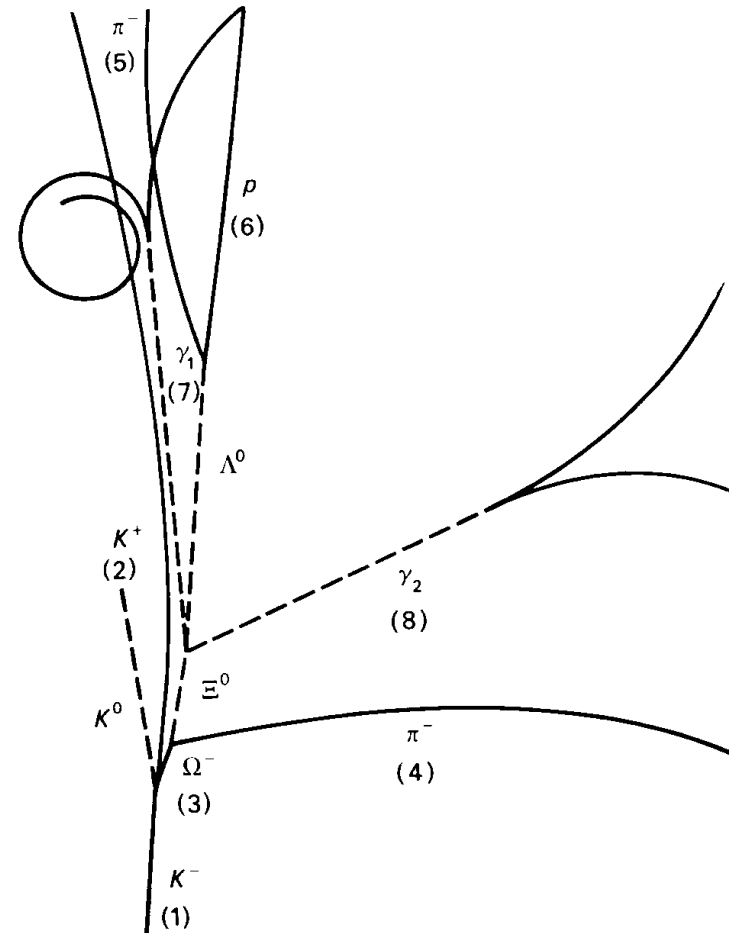
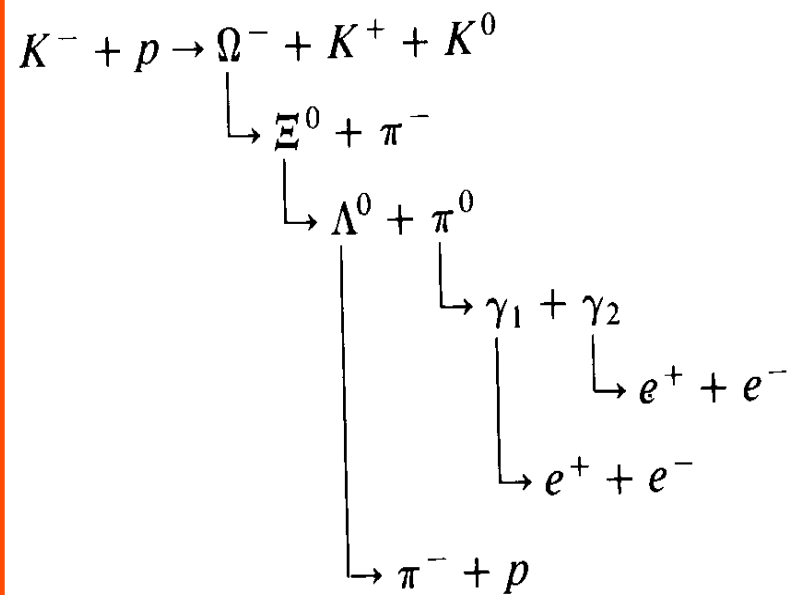
$$Y = B + S$$



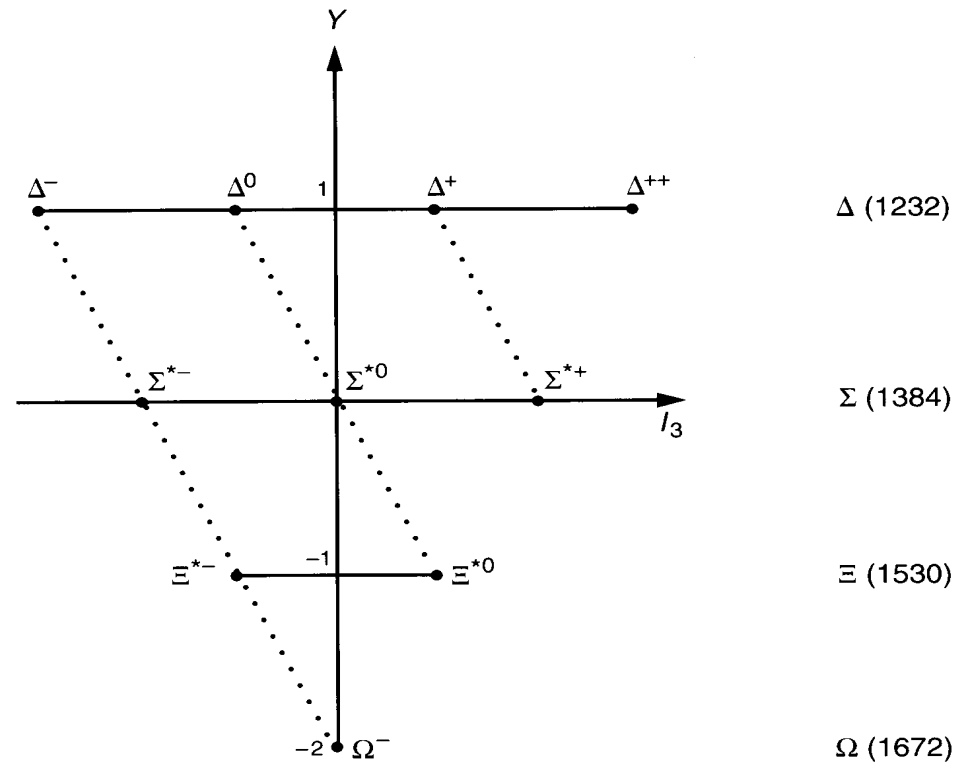
<i>Spin $\frac{1}{2}$ Baryons</i>					<i>Spin 0 (Pseudoscalar) Mesons</i>				
<i>Baryons</i>	<i>I-Spin</i>	<i>Mass (MeV)</i>	<i>Name</i>	S	<i>Mesons</i>	<i>I-Spin</i>	<i>Mass (MeV)</i>	<i>Name</i>	S
p, n	$\frac{1}{2}$	939	nucleon	0	π^+, π^0, π^-	1	139	pion	0
Λ^0	0	1116	lambda	-1	K^+, K^0	$\frac{1}{2}$	495	kaon	+1
$\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$	1	1193	sigma	-1	η^0	0	549	eta	0
Ξ^0, Ξ^-	$\frac{1}{2}$	1318	cascade*	-2	$K^-, \bar{K}^0$	$\frac{1}{2}$	495	(anti)kaon	-1
					η'^0	0	958	eta prime	0



A última peça de “estranheza”: Ω^- (1964)



<i>Spin $\frac{1}{2}$ Baryons</i>					<i>Spin 0 (Pseudoscalar) Mesons</i>				
<i>Baryons</i>	<i>I-Spin</i>	<i>Mass (MeV)</i>	<i>Name</i>	S	<i>Mesons</i>	<i>I-Spin</i>	<i>Mass (MeV)</i>	<i>Name</i>	S
p, n	$\frac{1}{2}$	939	nucleon	0	π^+, π^0, π^-	1	139	pion	0
Λ^0	0	1116	lambda	-1	K^+, K^0	$\frac{1}{2}$	495	kaon	+1
$\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$	1	1193	sigma	-1	η^0	0	549	eta	0
Ξ^0, Ξ^-	$\frac{1}{2}$	1318	cascade*	-2	$K^-, \bar{K}^0$	$\frac{1}{2}$	495	(anti)kaon	-1
					η'^0	0	958	eta prime	0



Origens dos estudos modernos dos constituintes mais elementares da matéria

1953 - Modelo coletivo da estrutura nuclear é proposto por Bohr, Mottelson e Rainwater

1953 - Hipótese de um novo número quântico: a “estranheza”

1964 - Proposto o modelo de Quarks por Gell-Mann e Zweig

$j = \frac{3}{2}$ Baryons
(those with $\sim$ are symmetrized sums)

Nonstrange

$$\Delta^- = ddd \quad \Delta^0 \sim ddu \quad \Delta^+ \sim duu \quad \Delta^{++} = uuu$$

$$S = -1$$

$$\Sigma^{*-} \sim sdd \quad \Sigma^{*0} \sim sud \quad \Sigma^{*+} \sim suu$$

$$S = -2$$

$$\Xi^{*-} \sim ssd \quad \Xi^{*0} \sim ssu$$

$$S = -3$$

$$\Omega^- = sss$$

$j = \frac{1}{2}$ Baryons
(mixed symmetry combinations occur multiplied by mixed spin symmetry factors)

Nonstrange

$$n \sim udd \quad p \sim uud$$

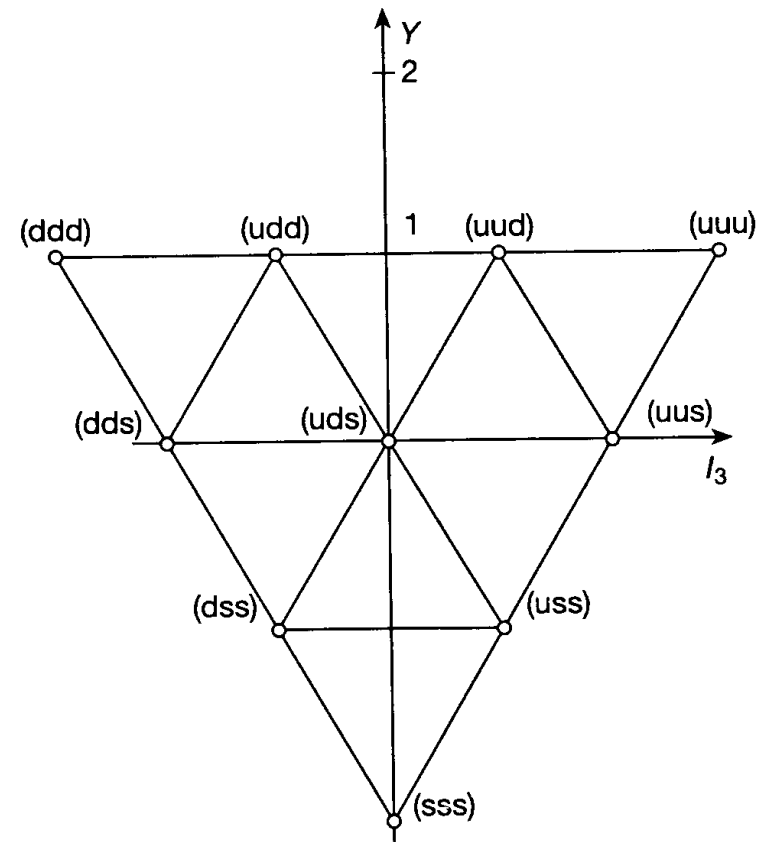
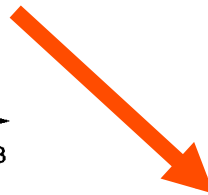
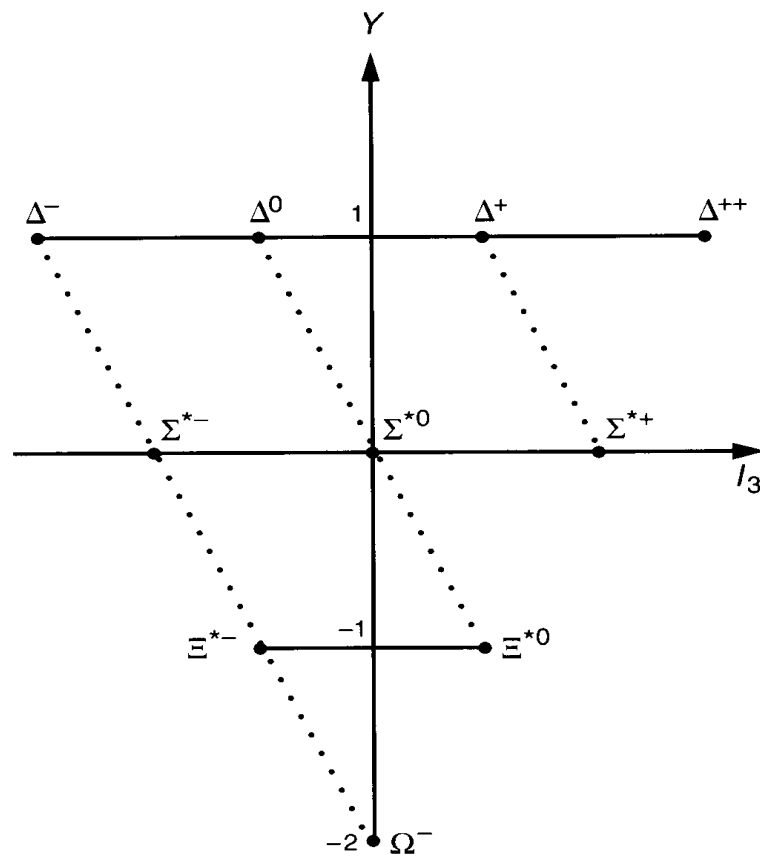
$$S = -1$$

$$\Sigma^- \sim dds \quad \Sigma^0 \sim \frac{1}{\sqrt{2}}(ud + du)s \quad \Sigma^+ \sim uus$$

$$\Lambda^0 \sim \frac{1}{\sqrt{2}}(ud - du)s$$

$$S = -2$$

$$\Xi^- \sim dss \quad \Xi^0 \sim uss$$



Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

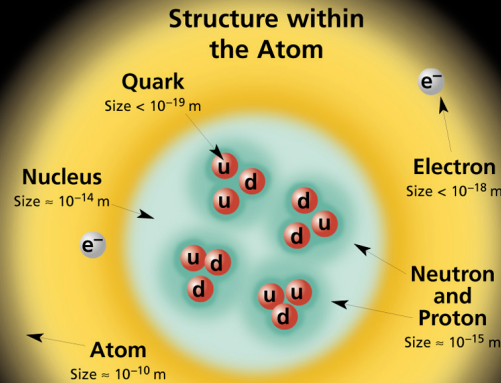
The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0
μ muon	0.106	-1
ν_τ tau neutrino	<0.02	0
τ tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.003	2/3
d down	0.006	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	175	2/3
b bottom	4.3	-1/3



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.

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of $\hbar$, which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-25}$ GeV s $\approx 1.05 \times 10^{-34}$ J s.

Electric charges are given in units of the proton's charge. In SI units the electric charge of the proton is 1.60×10^{-19} coulombs.

The **energy** unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. **Masses** are given in GeV/c² (remember $E = mc^2$), where 1 GeV = 10^9 eV = 1.60×10^{-10} joule. The mass of the proton is 0.938 GeV/c² = 1.67×10^{-27} kg.

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.4	-1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

Color Charge

Each quark carries one of three types of "strong charge," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and W and Z bosons have no strong interactions and hence no color charge.

Quarks Confined in Mesons and Baryons

One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called **hadrons**. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: **mesons** $q\bar{q}$ and **baryons** qqq .

Residual Strong Interaction

The strong binding of color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual electrical interaction that binds electrically neutral atoms to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Property \ Interaction	Gravitational	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong	
				Fundamental	Residual
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at:		0.8	1	25	Not applicable to quarks
		10^{-4}	1	60	
		10^{-7}	1	Not applicable to hadrons	
				20	

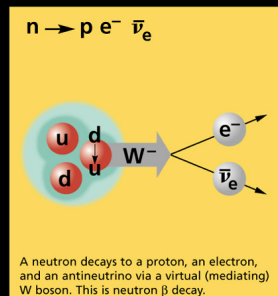
Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Matter and Antimatter

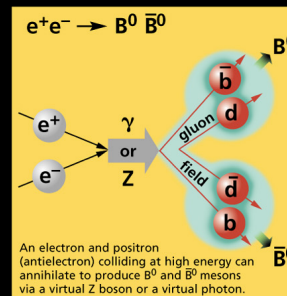
For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0 , γ , and $\eta_c = c\bar{c}$, but not $K^0 = d\bar{s}$) are their own antiparticles.

Figures

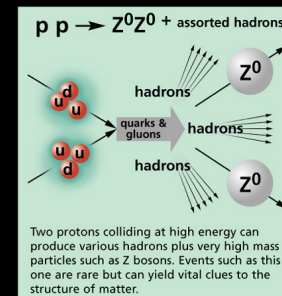
These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are **not** exact and have **no** meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, and red lines the quark paths.



A neutron decays to a proton, an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W^- boson. This is neutron β decay.



An electron and positron (antielectron) colliding at high energy can annihilate to produce B^0 and $\bar{B}^0$ mesons via a virtual Z boson or a virtual photon.



The Particle Adventure

Visit the award-winning web feature *The Particle Adventure* at <http://ParticleAdventure.org>

This chart has been made possible by the generous support of:

U.S. Department of Energy
U.S. National Science Foundation
Lawrence Berkeley National Laboratory
Stanford Linear Accelerator Center
American Physical Society, Division of Particles and Fields
BURLE INDUSTRIES, INC.

©2000 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 50-308, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hands-on classroom activities, and workshops, see:

<http://CPEPweb.org>

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0
μ muon	0.106	-1
ν_τ tau neutrino	<0.02	0
τ tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.003	2/3
d down	0.006	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	175	2/3
b bottom	4.3	-1/3

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

Baryons are fermionic hadrons.
There are about 120 types of baryons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Mesons $q\bar{q}$

Mesons are bosonic hadrons.
There are about 140 types of mesons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.4	-1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Property \ Interaction	Gravitational	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong	
				Fundamental	Residual
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at: for two protons in nucleus	10^{-41}	0.8	1	25	Not applicable to quarks 20
	10^{-41}	10^{-4}	1	60	
	10^{-36}	10^{-7}	1	Not applicable to hadrons	

Large Hadron Collider



Large Hadron Collider



Large Hadron Collider



LHC – Algumas características

- O LHC é o maior acelerador do mundo com 27 km de circunferência;
- Sua profundidade varia entre 50 a 175 m;
- Gera colisões entre prótons a 14 TeV e colisões entre íons de Pb a 5 TeV por par de nucleons = 1150 TeV no total:
 - A velocidade de um próton acelerado nessa energia é 99,9999991% da velocidade da luz;

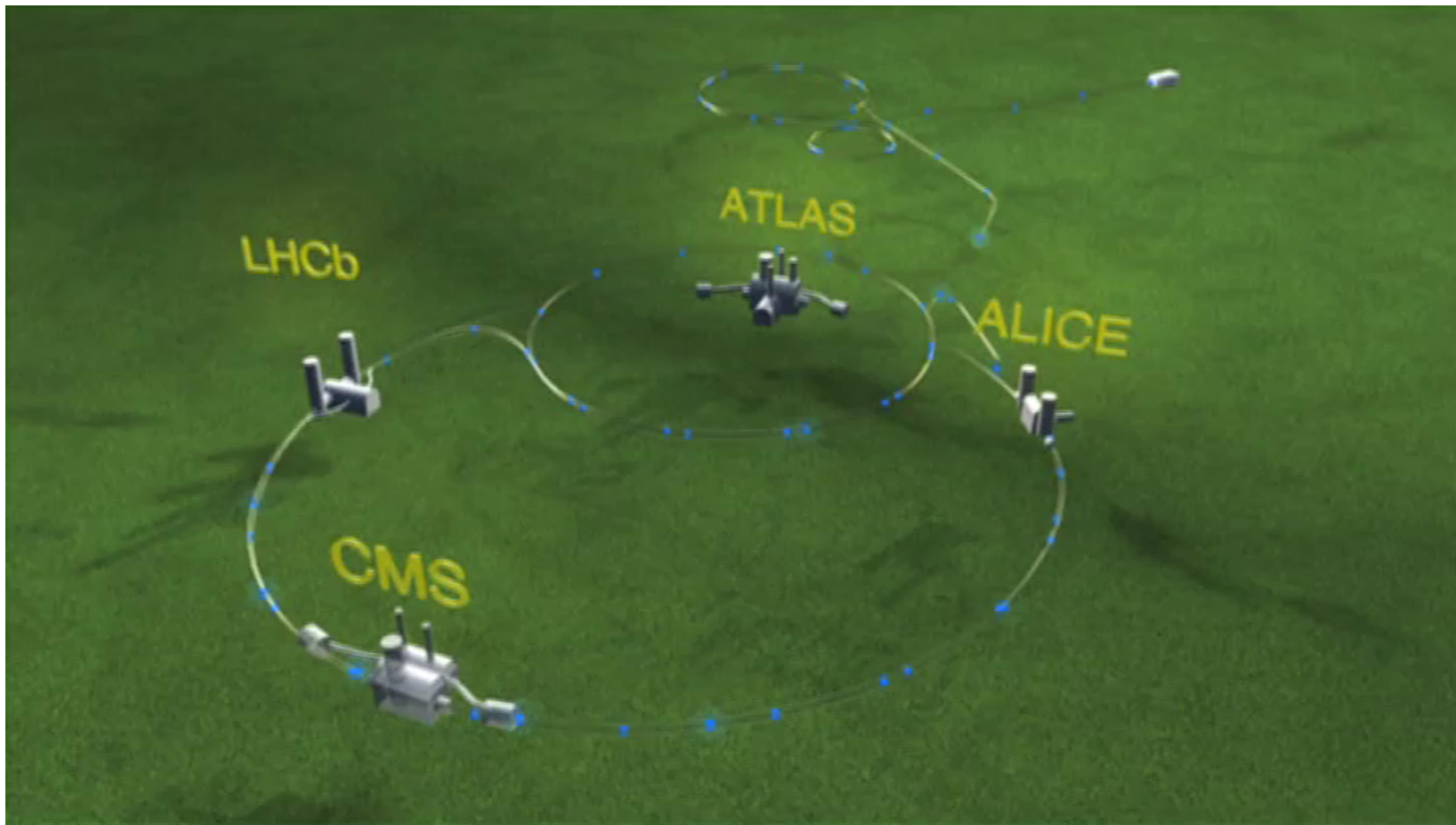
LHC – Algumas características

- Além da energia, outra característica importante de um acelerador é a sua luminosidade (colisões por unidade de seção de choque e por unidade de tempo) que depende:
 - do número de partículas por pacote (ou *bunch*): $1,1 \times 10^{11}$;
 - a frequência de rotação de cada pacote: 11245 voltas por segundo;
 - o número de pacotes no feixe: 2808;
 - e a seção de choque do processo a ser estudado: 600 milhões de colisões por segundo

LHC – Algumas características

- A pressão no interior do LHC será de 10^{-13} atm;
- O custo do LHC foi de, aproximadamente, 3 bilhões de euros;
- Os experimentos do LHC vão produzir 700 Mb/s de dados, ou seja, 15.000.000 Gb por ano, que equivale a uma pilha de 20 km de altura de CDs. Para armazenar e processar todo esse volume de dados, uma estrutura de GRID será utilizada.

“Enxergando” o resultado de uma colisão



Large Hadron Collider

- Por que construir o LHC?
- Do ponto de vista científico, muitas questões sobre o Universo ainda não respondidas podem ser estudadas
 - Questões sobre a origem da massa das partículas
 - Questões sobre a origem do Universo

“A Partícula de Deus”

- O que é o Bóson de Higgs?
- Por que ele é tão importante?
- Afinal existe o Bóson de Higgs?
- E se ele não existir, quais as implicações para nosso entendimento sobre a natureza mais fundamental da matéria?

Mecanismo de Higgs



David J. Miller, Physics and Astronomy, University College London (cartoons: CERN)

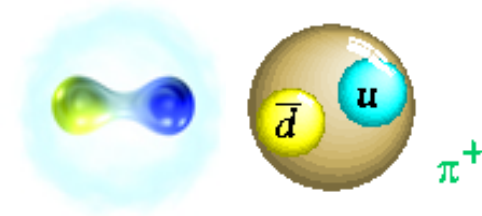
Bóson de Higgs



David J. Miller, Physics and Astronomy, University College London (cartoons: CERN)

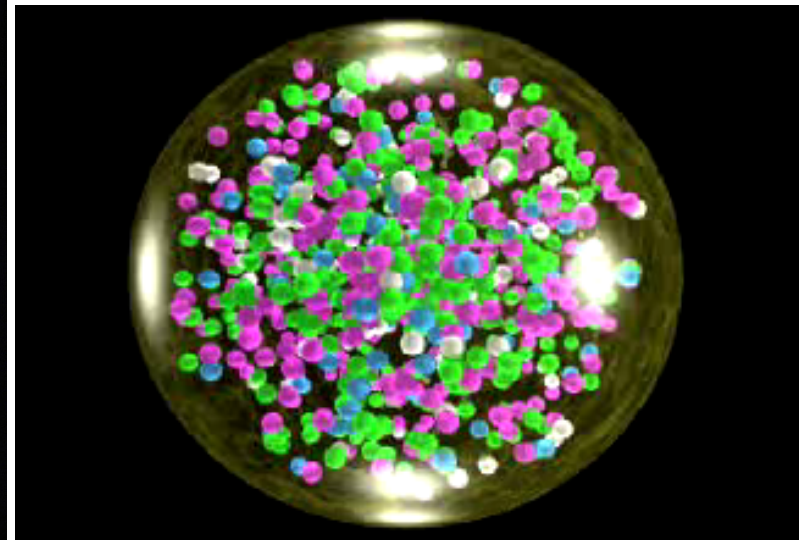
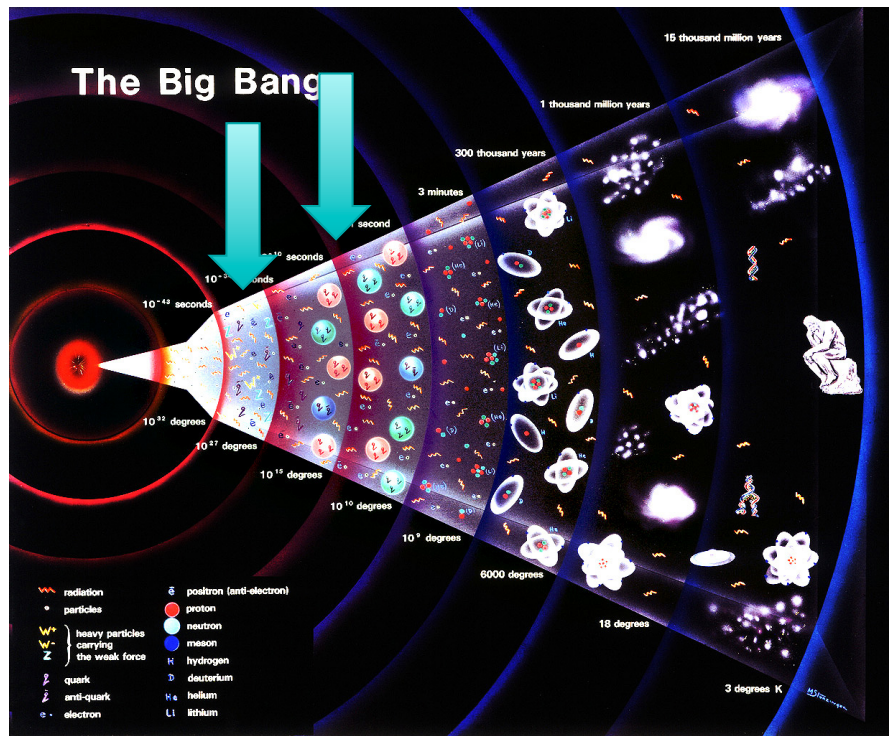
Os mistérios da natureza

- Quarks nunca foram observados!
- Eles estão “presos” dentro de outras partículas como prótons e nêutrons



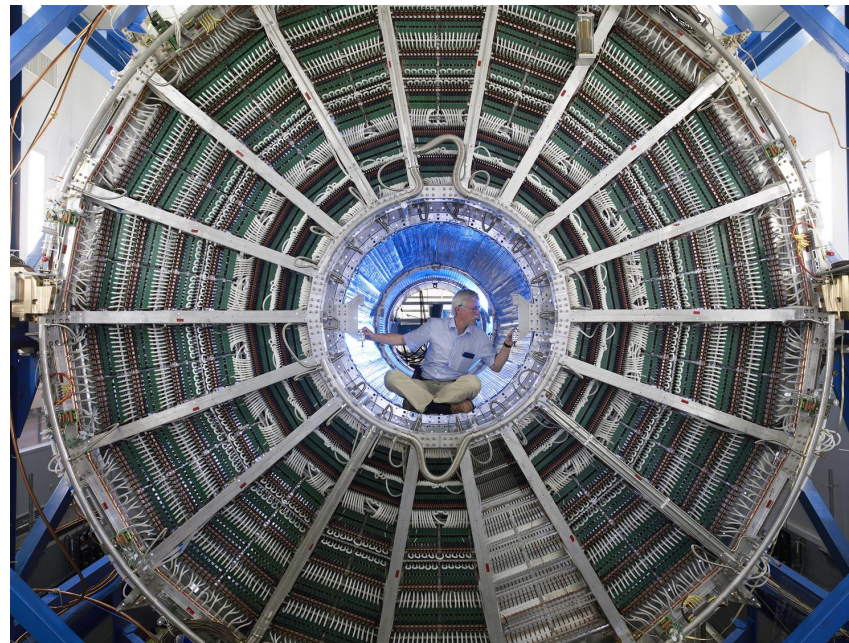
Os mistérios da natureza

- É possível que alguns meses após a criação do universo, os átomos estavam “livres”



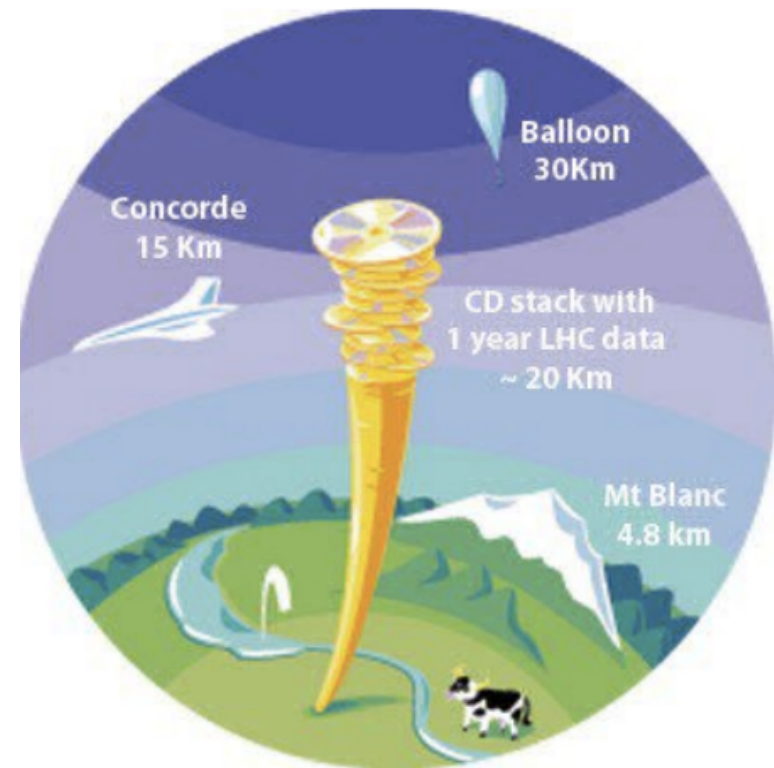
Desafios tecnológicos

- 600 milhões de colisões por segundo
- 150 milhões de sensores adquirindo informação 40 milhões de vezes por segundo



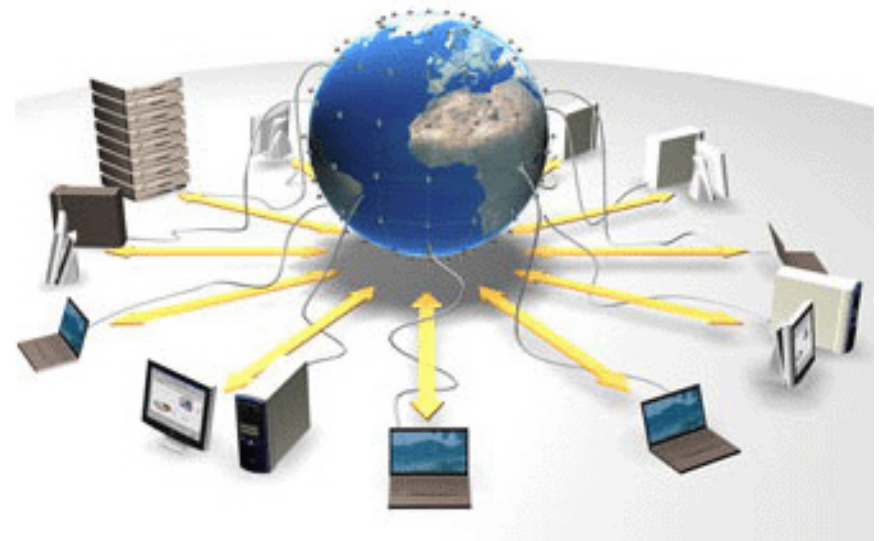
Desafios tecnológicos

- Os experimentos do LHC vão produzir 700 Mb/s de dados, ou seja, 15.000.000 Gb por ano, que equivale a uma pilha de 20 km de altura de CDs.



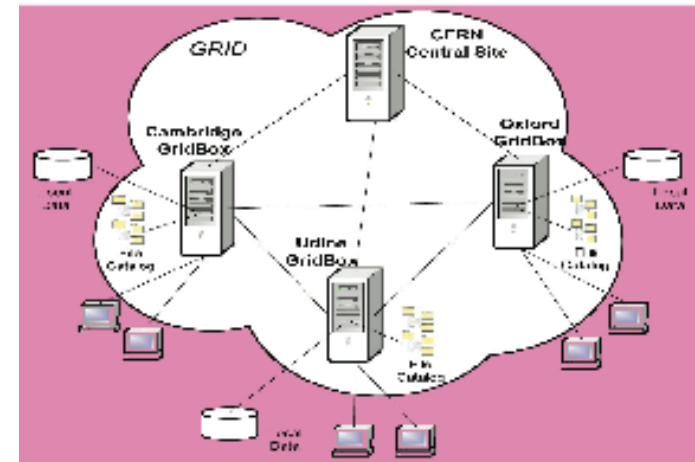
Produtos tecnológicos

- GRID
- Computadores interligados no mundo todo para armazenamento e processamento de dados
- Número infinito de possíveis aplicações



Produtos tecnológicos

- MammoGrid
- Criar um banco de dados compartilhado com mamografias, permitindo um estudo mais detalhado sobre o câncer de mama



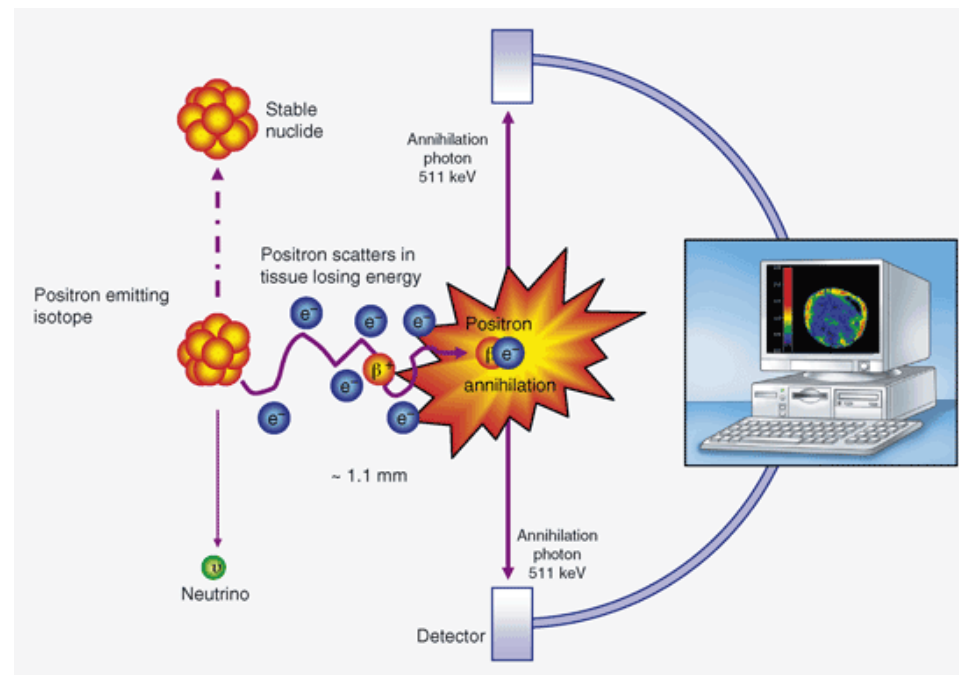
Exemplos de Tecnologia desenvolvida no CERN

- Tim Berners-Lee, um cientista do CERN, inventa a World Wide Web (WWW) em 1989
- A idéia era facilitar a comunicação entre os cientistas



Exemplos de Tecnologia desenvolvida no CERN

- Na década de 1970, o CERN tem papel decisivo no desenvolvimento da *Positron Emission Tomography* (PET)



Explorando o Universo com os Aceleradores de Partículas

- A curiosidade para descobrir como funciona o mundo que nos cerca já seria suficiente para justificar o investimento na ciência, mesmo em estudos que não apresentam perspectiva de uma “utilidade” a curto prazo
- Porém, mesmo estudos como esses trazem inovação e desenvolvimento tecnológico devido sua elevada demanda por soluções tecnológicas

Explorando o Universo com os Aceleradores de Partículas

- *“Faraday's experiments on electricity, for example, were driven by curiosity but eventually brought us electric light. No amount of R&D on the candle could ever have done that (Robert Aymar, former Director General of CERN)”*
- *“Why, sir, there is every possibility that you will soon be able to tax it! (Faraday to PM William Gladstone, on the usefulness of electricity)”*