

Física de Partículas

- ***Interações Fundamentais***
- ***Classificação das Partículas***
- ***Modelos Teóricos***
- ***Bósons de Higgs***
- ***Detectores de Partículas***

Interações Fundamentais

Todos os fenômenos físicos observados, levam a crer que existem quatro forças fundamentais na natureza.

- *Força gravitacional*
- *Força eletromagnética*
- *Força fraca*
- *Força forte*

Ordinariamente apenas os fenômenos eletromagnéticos e gravitacionais podem ser observados.

Somente estas forças produzem efeitos significativos em escalas observáveis.

• **Força gravitacional**

É a mais familiar das forças fundamentais.

A nível não relativístico, a fonte da força gravitacional é a massa.

Como a massa é uma grandeza sempre positiva, a força gravitacional é sempre atrativa.

A intensidade da força gravitacional é governada pela constante de Newton, G e é extremamente fraca quando comparada com as outras forças fundamentais.

É a única força de longo alcance que atua tanto na matéria neutra quanto na eletricamente carregada. Atua entre todas as partículas massivas **(segundo o tratamento clássico não relativístico)**.

• **Força eletromagnética**

A fonte da força eletromagnética é a carga elétrica que pode ser positiva ou negativa resultando em uma força atrativa entre cargas de sinais opostos e uma força repulsiva entre cargas de mesmo sinal. Portanto atua entre todas as partículas que possuem carga elétrica.

É a força que atua entre os átomos dando origem às moléculas, sendo portanto de fundamental importância para a constituição da matéria.

Exemplo de interação eletromagnética: formação de pares.

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

É a força que conseguimos entender de forma mais completa.

Graças ao longo alcance, fenômenos macroscópicos podem ser entendidos usando o eletromagnetismo clássico.

Como é uma força razoavelmente fraca, fenômenos microscópicos quantum-mecânicos podem ser entendidos usando teoria de perturbação.

Sua intensidade é caracterizada pela constante de estrutura fina:

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137}$$

• **Força forte**

A experiência de Rutherford(1910), provou que o núcleo é formado por partículas de carga positiva concentradas em uma pequena região.

Alguma explicação precisava ser dada, de modo a justificar porque isto é possível uma vez que partículas de mesma carga sofrem a ação da força eletromagnética repulsiva.

Quando o neutron foi finalmente descoberto em 1932, ficou claro que deveria existir uma nova força na natureza, capaz de manter unidos prótons e neutrons dentro do núcleo.

Em um núcleo, prótons e neutrons estão confinados dentro de uma região de aproximadamente $10^{-15}m$.

A observação de que o núcleo tem dimensão muito pequena levou a conclusão de que a *força de interação entre nucleons deve ser fortemente atrativa* de modo a superar a intensa repulsão eletrostática entre os prótons em seu interior.

A *energia de ligação entre dois prótons* está na escala de milhões de elétron-volts, *MeV*, enquanto que a *energia de ligação atômica* está na escala de elétron-volt, *eV*.

A *força forte é de curto alcance*, o que foi provado pelo experimento de Rutherford, já que o espalhamento das partículas alfa pelos núcleos atômicos, foram descritos exclusivamente pela força eletromagnética.

O efeito da força forte só pode ser observado quando as partículas alfa têm energia muito alta, de modo que possam penetrar no núcleo.

Desta observação conclui-se que o *alcance da força forte* é da ordem do diâmetro nuclear, ou seja, $10^{-15}m$.

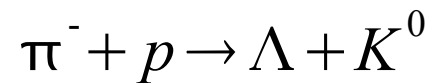
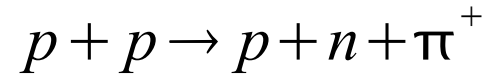
A força forte é independente da carga elétrica de modo que prótons e neutrons estão ligados de forma similar.

Resumindo:

- *a força forte tem curto alcance, da ordem de Fermi;*
- *é intensa, predominando sobre a força de repulsão eletrostática, em regime de curta distância;*
- *é independente da carga elétrica das partículas sobre as quais atua.*

A força forte atua também entre outras partículas, além de prótons e neutrons.

Exemplos de interações regidas pela força forte.



Na primeira reação a interação entre dois prótons gera além dos nucleons já conhecidos, uma partícula chamada pión positiva.

Na segunda reação a interação entre um pión negativo e um próton, gera um delta e um káon zero.

• *Força fraca*

O neutron livre é instável com vida média de aproximadamente 15 min.

Este tempo é muito superior aqueles processos ligados à força forte.

Por outro lado, o decaimento do neutron também não poderia ser atribuído à força eletromagnética.

Estas observações levaram a conclusão de que o decaimento do neutron é devido a uma nova força da natureza.

A força fraca é a responsável pelo decaimento do neutron que resulta na emissão de partículas beta.

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$$

A mesma interação é responsável pela reação reversa, na qual um próton absorve um elétron, resultando em um nêutron.

$$p + e \rightarrow n + \nu_e$$

Os neutrinos produzidos nos decaimentos beta, interagem somente pela ação da força fraca e da força gravitacional.

A aparente invisibilidade do neutrino é devido a força fraca ter pequena intensidade.

A força fraca, também atua somente em pequenas distâncias ($< 10^{-18}\text{m}$).

Força Gravitacional

- *Partícula mediadora - gráviton*
- *Atuação - sobre todas as partículas com massa não nula*
- *Alcance - ∞*
- *Intensidade - $\approx 10^{-40}$*

Força Eletromagnética

- *Partícula mediadora - fóton*
- *Atuação - sobre todas as partículas carregadas*
- *Alcance - ∞*
- *Intensidade - $\approx 10^{-2}$*

Força Forte

- *Partícula mediadora - glúons*
- *Atuação - sobre hádrons*
- *Alcance - 10^{-15} m*
- *Intensidade - ≈ 1*

Força Fraca

- *Partícula mediadora – W^+ , W^- e Z^0*
- *Atuação - sobre hádrons e léptons*
- *Alcance - 10^{-18} m*
- *Intensidade - $\approx 10^{-5} - 10^{-14}$*

Classificação das Partículas

As partículas são classificadas segundo as interações a que estão sujeitas.

Todas as partículas carregadas sofrem interação eletromagnética, mas não interagem por meio da mesma força.

O critério de classificação usado é baseado na capacidade de interagir por meio da força forte ou força fraca a que as partículas estão sujeitas.

- *Léptons – partículas que interagem por meio da força fraca.*
- *Hádrons – partículas que interagem por meio da força fraca e força forte*
- *Bósons intermediários ou bósons de calibre*

Léptons e antiléptons

A família de léptons é composta por seis partículas carregadas e 3 partículas sem carga.

Partículas carregadas:

- *Elétron (e^-) com massa de $(0,51099892 \pm 0,00000004) \text{ MeV}$*
- *Múon (μ^-) com massa de $(105,658369 \pm 0,000009) \text{ MeV}$*
- *Tau (τ^-), com massa de $(1776,990,29) \text{ MeV}$*

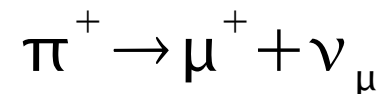
Partículas neutras:

- *Neutrino do elétron, ν_e*
- *Neutrino do múon, ν_μ*
- *Neutrino do tau, ν_τ*

Note que há três tipos de neutrinos distintos entre si, cada um dos quais é associado a um lépton específico.

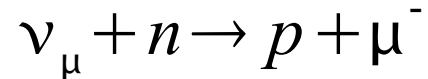
Assim quando uma interação envolve um elétron, aparece o neutrino do elétron, quando envolve um múon, aparece o neutrino do múon e quando envolve o tau, aparece o neutrino do tau.

Exemplo, decaimento do méson pi positivo:



Observa-se sempre a presença de um neutrino do múon, jamais resulta em um neutrino do elétron ou do tau.

Esta propriedade foi provada experimentalmente através da reação:



Ou seja, o resultado é o aparecimento de um múon, nunca de um elétron ou de um tau.

Resultados experimentais indicam que os neutrinos têm massa, porém muito pequena, sendo as dos neutrinos do elétron e múon, < 2 eV, sendo possível que a massa do neutrino do tau, seja ligeiramente maior.

Antiléptons

A cada lépton está associado um antilépton de mesma massa e carga de sinal oposto.

- *Pósitron* (e^+) e antineutrino do elétron, $\bar{\nu}_e$
- *Múon positivo* (μ^+) e antineutrino do múon, $\bar{\nu}_\mu$
- *Tau positivo* (τ^+) e antineutrino do tau, $\bar{\nu}_\tau$

Aos léptons é atribuído o número leptônico +1 enquanto que aos antilépton número leptônico -1.

Partículas que não são léptons têm número leptônico zero.

Em um decaimento envolvendo léptons, há conservação de cada um dos números leptônicos dos léptons envolvidos no decaimento em questão.

Exemplo:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_\mu + \nu_e$$

Antes do decaimento, o número leptônico de múon é -1 (múon); depois do decaimento, -1 (antineutrino do múon). Portanto há conservação do número leptônico do múon.

Antes do decaimento, o número leptônico do elétron é zero; depois do decaimento, -1(pósitron) e +1(neutrino do elétron). Portanto há conservação do número leptônico do elétron.

Este decaimento é possível pois há conservação dos números leptônicos do elétron e do múon.

Hádrons

Os hádrons sofrem a ação da interação forte, eletromagnética e fraca. Há dois tipos de hádrons: mésons, constituídos por um quark e um antiquark e os bárions, constituídos por três quarks.

Mésons se desintegram em outros mésons; nunca produzem nucleons (prótons ou neutrons) como resultado final.

Bárions se desintegram produzindo nucleons no estado final.

Exemplos:

$$\Lambda \rightarrow p + \pi^-$$

$$\Omega^- \rightarrow \Xi^- + \pi^0 \quad \Xi^- \rightarrow \Lambda + \pi^- \quad \Lambda \rightarrow p + \pi^-$$

No estado final aparece um proton.

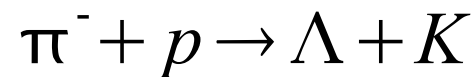
A cada bárion corresponde uma antipartícula, com a mesma massa e carga elétrica de sinal oposto.

Ao se desintegrarem, antibárions produzem antineutrons ou antiprótons no estado final.

Aos bárions é atribuído o número bariônico +1 e aos antibárions o número bariônico -1.

Numa reação envolvendo bárions, os números bariônicos se conservam.

Exemplo:



O número bariônico antes da reação, +1 devido ao próton e zero devido ao pión; depois da reação, +1 devido ao lambda e zero devido ao káon.

Processos Virtuais

O conceito de processos virtuais é de fundamental importância em física de partículas.

Para entender este conceito, vamos usar os conceitos usados para descrever a teoria de campo quântica relativística, QED, que descreve as interações de partículas eletricamente carregadas via fótons.

Segundo a QED, as interações ocorrem através da troca de fótons, que é o quantum do campo elétrico.

A dinâmica dos quanta de um campo individual, em qualquer processo de expansão de perturbação não é limitada pela conservação de energia e conservação de momento.

Isto é permitido pelo princípio da incerteza de Heisenberg,

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar$$

Assim, um elétron pode emitir um fóton energético, ou um fóton pode se converter em um par elétron-pósitron em escalas de tempo microscópicas, desde que haja conservação de energia no longo prazo.

Suponha um processo que ocorre em um intervalo de tempo $\Delta t = 6,6 \times 10^{-27}$ s.

Segundo o princípio de Heisenberg, a incerteza na energia, será:

$$\Delta E \approx \frac{6,6 \times 10^{-22}}{6,6 \times 10^{-27}} \sim 10^5 \text{ MeV}$$

Este valor de ΔE corresponde a aproximadamente 10^7 vezes a massa do próton.

Concluimos portanto que para Δt muito pequeno, pode haver violação da conservação de energia.

Os processos que ocorrem durante um intervalo de tempo muito pequeno, no qual pode haver violação de conservação de energia, são conhecidos como processos virtuais.

Eles formam os estados intermediários das reações em partículas elementares, estados virtuais.

O pión e processos virtuais

A existência do pión foi proposta em 1934, por Hideki Yukawa como sendo um portador da força nuclear forte.

Em 1947, C. Powell, C. Lattes e G. Occhialini, da Bristol University, realizaram experimentos em Chacaltaya, Andes Bolivianos, aonde o pión foi finalmente detectado.

E. Fermi e Chen Ning Yang observaram que o pión possui propriedades físicas similares a de um par nucleon-antinucleon, entretanto a massa do par é 13 vezes maior que a do pión.

Esta diferença em energia pode ser explicada considerando a ocorrência de um estado virtual.

O pión pode portanto ser considerado em um intervalo de tempo muito pequeno, como um estado virtual nucleon-antinucleon.

Usando esta idéia, podemos descrever os seguintes estados virtuais:

$$\begin{aligned}\pi^+ &= p \bar{n} \\ \pi^- &= \bar{p} n \\ \pi^0 &= p \bar{p} + n \bar{n}\end{aligned}$$

A partir da observação das propriedades do pión, Fermi e Yang propuseram uma teoria baseada nesta idéia da representação de uma partícula como estado virtual de duas outras partículas.

• *Previsão da massa do pión*

Segundo a teoria de Yukawa, o pión toma “emprestado” uma quantidade de energia mc^2 , por um tempo Δt , portanto pode viajar por uma distância dada por:

$$S \approx c \Delta t \approx \frac{hc}{2 \times 2\pi \Delta E} \approx \frac{hc}{4\pi mc^2}$$

Onde Δt , é substituído pela relação de incerteza.

Levando em conta que o alcance da força forte é de aproximadamente 1fm, Yukawa previu para a massa do pión:

$$mc^2 \approx \frac{hc}{4S} \approx \frac{4,135667 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \times 3 \times 10^8 \text{ m}}{4 \times 3,1415927 \times 10^{-15} \text{ m}} \approx 100 \text{ MeV}$$

Esta previsão não foi muito valorizada, até que uma nova partícula foi descoberta, em 1937.

Em 1937, dois experimentos, conduzidos por Anderson e Neddermeyer e independentemente por Street e Stevenson, observaram em câmara de nuvens, a presença partículas positivas e negativas com massa de aproximadamente 200 vezes a massa do elétron.

Em um primeiro momento pensou-se ser as partículas de Yukawa, porém as observações experimentais levaram a conclusão de que não podia se tratar do pión.

Observações experimentais sobre a nova partícula:

- *dificuldade de interagir com núcleos atômicos, pois penetravam na atmosfera terrestre*
- *traços muito longos, incompatíveis com aqueles deixados por uma partícula sensível à interação forte;*
- *não foram encontradas partículas neutras.*

Estas observações experimentais conduziram a conclusão de que não se tratava do pión, mas sim de uma nova partícula.

No ano de 1937, esta partícula foi chamada múon. Em princípio, foi uma surpresa, pois esta partícula não estava prevista teoricamente.

À época da descoberta, não se tinha idéia de onde o μ se encaixaria.

O múon comporta-se como um elétron pesado, decai num elétron em 2×10^{-6} s; portanto não é encontrado na matéria ordinária.

O múon é uma partícula elementar que pertence a categoria dos léptons.

Devido a curta vida média, o múon não é encontrado na matéria ordinária.

O múon pertence a chamada segunda geração de partículas elementares pesadas e é um lépton, assim como o elétron.

O Modelo de Sakata

Estas idéias juntamente com a descoberta de novas partículas, inspiraram o primeiro modelo para descrever os hádrons, o modelo de Sakata.

Neste modelo, os hádrons foram descritos como estados virtuais de nucleon-antinucleon, lambda e antilambda.

Segundo este modelo os mésons são constituídos por uma partícula e uma antipartícula; os bárions são constituídos por duas partículas e uma antipartícula ou uma partícula e duas antipartículas.

Exemplo: méson $\rightarrow K^- = \Lambda + \bar{p}$
bárions $\rightarrow \Sigma^+ = p + n + \bar{\Lambda}$
 $\Xi^+ = \bar{\Lambda} + p$

Modelo a quarks de Gell-Mann e Zweig

Em 1964, Gell-Mann e Zweig independentemente, desenvolveram um modelo para hádrons com três componentes, os quarks up(**u**), down(**d**) e estranho(**s**) . Este modelo foi inspirado no modelo de Sakata,

Inicialmente foram considerados os três quarks e a cada um dos três quarks estão associados três antiquarks.

Aos quarks estão associados os números quântico de spin, o número bariônico, a carga elétrica, sendo ao quark estranho além destas propriedades, associada a estranheza.

Os antiquarks estão associados aos números bariônicos, cargas elétricas e estranhezas de sinais opostos aos quarks e mesmo spin dos quarks.

A tabela abaixo mostra os primeiros quarks previstos e detectados e as respectivas propriedades.

Quark	u	d	s	\bar{u}	\bar{d}	\bar{s}
n. Bariônico	+1/3	+1/3	+1/3	-1/3	-1/3	-1/3
Carga	+2/3	-1/3	-1/3	-2/3	+1/3	+1/3
Spin	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
Estranheza	0	0	-1	0	0	+1

Note que os quarks possuem carga elétrica fracionária, o que reproduz as cargas elétricas unitárias associadas aos hádrons.

Esta família de quarks é chamada de quarks leves, compõem as partículas mais leves.

Os hádrons são divididos em mésons e bárions. Os hádrons são classificados portanto como:

- *Mésons: um quark e um antiquark*
- *Bárions: três quarks*
- *Antibárion: três antiquarks*

Ao longo do tempo, foram detectadas e previstas, segundo os modelos teóricos, a existência de outros quarks componentes de novas partículas.

Na tabela a seguir, mostramos as propriedades de novos quarks.

Quark	c	b	t	\bar{c}	\bar{b}	\bar{t}
N. bariônico	+1/3	+1/3	+1/3	-1/3	-1/3	-1/3
Carga	+2/3	-1/3	-1/3	-2/3	+1/3	+1/3
Spin	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
Estranheza s	0	0	0	0	0	0
N. charme c	+1	0	0	-1	0	0
N. bottom b	0	-1	0	0	+1	0
N. top t	0	0	+1	0	0	-1

Note que os quark/antiquark estranho, charme, boton e top, carregam os respectivos números que os identificam.

As diversas partículas conhecidas e já tabeladas, são atribuídos os números ligados aos quarks que as compõem.

Os quarks up e down, são chamados de quarks leves, os demais são chamados de quarks pesados.

Daí, classificamos os hádrons de acordo com os quarks que os compõem. Muito frequentemente nos referimos a mésons leves, compostos pelos quarks mais leves, up e down e bárions leves também formados pelos quarks mais leves, up e down.

Os mésons podem ter massa com valores muito diversos, desde o pión com massa 140MeV até o $B_c^{+/-}$ (quarks c e b), com massa 6400MeV.

Os bárions mais leves são os nucleons, prótons e neutrons.

Composição dos nucleons:

Próton – u u d

Neutron – u d d

• ***Uma nova propriedade dos quarks, a cor***

As reações entre quarks que envolvem interações eletromagnéticas, são as mais bem conhecidas e conseqüentemente as mais bem descritas teroriamente.

Por exemplo, a interação:

$$u \bar{u} \rightarrow e^{-} + e^{+}$$

pode ser descrita teoricamente com grande precisão e pode também ser medida experimentalmente.

A comparação entre resultados teóricos e experimentais, levando-se em conta apenas um tipo de quark, conduz a resultados experimentais três vezes maiores que os resultados teóricos, portanto há três tipos de cada quark.

Por outro lado foi também observado, que muitas partículas previstas por este modelo e detectadas, eram compostas por três quarks de mesmo sabor (mesma espécie). Desta forma o modelo entrava em conflito com o princípio de exclusão de Pauli já que quarks iguais possuem o mesmo conjunto de números quânticos.

Por exemplo, a partícula Δ^{++} , composta por três quarks up.

Resumindo, o modelo a quarks prediz corretamente a existência de hádrons com um dado spin e paridade; porém não explica a presença de quarks da mesma espécie em uma partícula.

Estas observações levaram a conclusão de que deveria existir uma propriedade inerente a cada um dos quarks de forma que cada um pudesse ser distinguido do outro, embora tivessem o mesmo sabor.

Em 1973, Fritzscht, Leutwyler e Gell-Mann, propuseram uma teoria mais completa, a chamada Cromodinâmica Quântica (QCD).

Segundo esta teoria a carga cor é a fonte da força entre os quarks, de modo similar a carga elétrica que é fonte da força entre partículas carregadas.

Cada quark pode existir em três diferentes cores: vermelho, verde e azul; os antiquarks podem existir nas anticolors: antivermelho, antiverde e antiazul.

• *O Bóson de Higgs*

Para descrever corretamente as massas dos quarks, léptons e dos bósons W^{+-} e Z^0 , além das interações fundamentais o modelo padrão prevê a existência de mais uma interação e seu bóson intermediário, o bóson de higgs.

O bóson de higgs é uma partícula de spin zero e com grande massa.

A existência do bóson de higgs, concilia a grande diferença de massa entre os bósons mediadores das interações fundamentais e justifica a existência de um mecanismo que “dá” massa a todas as partículas conhecidas.

• *Modelo Padrão das Partículas Elementares.*

Desenvolvimentos teóricos posteriores e a descoberta de novas partículas levaram ao modelo padrão das partículas elementares.

O modelo padrão engloba a teoria das interações eletrofracas e a teoria da cromodinâmica quântica.

Todas as partículas elementares previstas pelo modelo foram detectadas experimentalmente. Em 2012, duas colaborações internacionais do Cern, (CMS e ATLAS), publicaram os primeiros resultados experimentais apontando para a descoberta da última partícula que faltava para compor este modelo, o bóson de Higgs. Em 2013, os resultados foram comprovados.

THE STANDARD MODEL OF FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model is a quantum theory that summarizes our current knowledge of the physics of fundamental particles and fundamental interactions (interactions are manifested by forces and by decay rates of unstable particles).

FERMIONS matter constituents

Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_L lightest neutrino*	$(0-2)\times 10^{-9}$	0	u up	0.002	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.005	-1/3
ν_M middle neutrino*	$(0.009-2)\times 10^{-9}$	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_H heaviest neutrino*	$(0.05-2)\times 10^{-9}$	0	t top	173	2/3
τ tau	1.777	-1	b bottom	4.2	-1/3

*See the neutrino paragraph below.

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 = 1.05×10^{-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 $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1.60\times 10^{-10}$ joule. The mass of the proton is 0.938 GeV/c² = 1.67×10^{-27} kg.

Neutrinos
Neutrinos are produced in the sun, supernovae, reactors, accelerator collisions, and many other processes. Any produced neutrino can be described as one of three neutrino flavor states ν_e , ν_μ , or ν_τ , labelled by the type of charged lepton associated with its production. Each is a defined quantum mixture of the three definite-mass neutrinos ν_L , ν_M , and ν_H for which currently allowed mass ranges are shown in the table. Further exploration of the properties of neutrinos may yield powerful clues to puzzles about matter and antimatter and the evolution of stars and galaxy structures.

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.

Particle Processes

These diagrams are an artist's conception. Orange shaded areas represent the cloud of gluons.

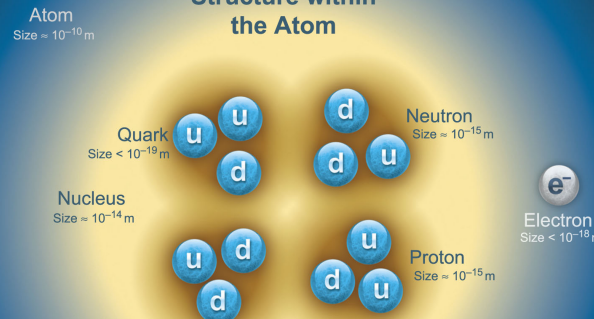
$n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$

A free neutron (udd) decays to a proton (uud), an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W boson. This is neutron β (beta) decay.

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

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

Structure within the Atom



If the proton 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.

BOSONS force carriers

Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0	g gluon	0	0
W⁻	80.39	-1	Higgs Boson spin = 0		
W⁺	80.39	+1	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
Z⁰	91.188	0	H Higgs	126	0

Higgs Boson

The Higgs boson is a critical component of the Standard Model. Its discovery helps confirm the mechanism by which fundamental particles get mass.

Color Charge

Only quarks and gluons carry "strong charge" (also called "color charge") and can have strong interactions. Each quark carries three types of color charge. These charges have nothing to do with the colors of visible light. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions, color-charged particles interact by exchanging gluons.

Quarks Confined in Mesons and Baryons

Quarks and gluons cannot be isolated – 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. 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 . Among the many types of baryons observed are the proton (uud), antiproton ($\bar{u}\bar{u}\bar{d}$), and neutron (udd). Quark charges add in such a way as to make the proton have charge 1 and the neutron charge 0. Among the many types of mesons are the pion π^+ ($u\bar{d}$), kaon K^- ($s\bar{u}$), and B^0 ($d\bar{b}$).

Learn more at ParticleAdventure.org



Properties of the Interactions

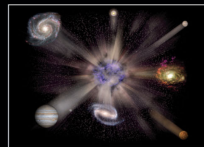
The strengths of the interactions (forces) are shown relative to the strength of the electromagnetic force for two u quarks separated by the specified distances.

Property	Gravitational Interaction	Weak Interaction (Electroweak)	Electromagnetic Interaction	Strong Interaction
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically Charged	Quarks, Gluons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W⁺ W⁻ Z⁰	γ	Gluons
Strength at $\begin{cases} 10^{-18} \text{ m} \\ 3\times 10^{-17} \text{ m} \end{cases}$	10^{-41} 10^{-41}	0.8 10^{-4}	1 1	25 60

Unsolved Mysteries

Driven by new puzzles in our understanding of the physical world, particle physicists are following paths to new wonders and startling discoveries. Experiments may even find extra dimensions of space, microscopic black holes, and/or evidence of string theory.

Why is the Universe Accelerating?



The expansion of the universe appears to be accelerating. Is this due to Einstein's Cosmological Constant? If not, will experiments reveal a new force of nature or even extra (hidden) dimensions of space?

Why No Antimatter?



Matter and antimatter were created in the Big Bang. Why do we now see only matter except for the tiny amounts of antimatter that we make in the lab and observe in cosmic rays?

What is Dark Matter?



Invisible forms of matter make up much of the mass observed in galaxies and clusters of galaxies. Does this dark matter consist of new types of particles that interact very weakly with ordinary matter?

Are there Extra Dimensions?



An indication for extra dimensions may be the extreme weakness of gravity compared with the other three fundamental forces (gravity is so weak that a small magnet can pick up a paper clip overwhelming Earth's gravity).

• *Modelo padrão*

- *Os constituintes fundamentais da matéria são os quarks: up (u), down (d), estranho “strange”(s), botton (b) e top (t) e os léptons: elétron (e), neutrino do elétron (ν_e), o múon (μ), neutrino (ν_μ), tau (τ) e neutrino do tau (ν_τ).*
- *Os bósons intermediários ou de calibre, são responsáveis pelas interações entre os constituintes fundamentais, isto é são os portadores das forças fundamentais. Os bósons mediadores das forças fundamentais são: gama (γ) da interação eletromagnética, W^{+-} e Z^0 da interação fraca e glúon da interação forte.*
- *As interações eletromagnética e fraca são unificadas na interação eletrofraca.*
- *Há 8 tipos de glúons e os glúons interagem entre si.*

Entretanto sabemos que o mediador da força eletromagnética, o fóton não tem massa enquanto que os mediadores da força fraca, os bósons W^{+-} , Z^0 têm massa bastante grande:

$$M(W^{+-}) \approx 80,4 \text{ GeV}$$

$$M(Z^0) \approx 91,2 \text{ GeV}$$

A melhor justificativa para esta questão é a existência de um campo, o campo de Higgs, que a exemplo do campo gravitacional e eletromagnético permeia todo espaço, mas sua interação não causa força entre as partículas; confere massa às partículas.

Os fótons não possuem massa pois não interagem com o campo de Higgs, enquanto que os bósons W e Z , interagem, adquirindo massa.

No modelo padrão, o mecanismo responsável por conferir massa às partículas, é a quebra de simetria.

A teoria tem simetrias que requerem que todas as partículas fundamentais, não possuam massa. Não é possível escrever uma teoria que envolvam partículas de spin $1/2$, interagindo por meio da troca de partículas de spin 1 , sem tal simetria.

Como observamos que existem muitas partículas que têm massa diferente de zero, deve haver um mecanismo que quebra esta simetria.

A forma mais simples de permitir esta quebra de simetria é a incorporação do Higgs na teoria.

Não sabemos exatamente como a simetria é quebrada, há muito o que aprender!

Portanto é de grande importância o estudo do bóson de Higgs.

• *Detectores de partículas*

As partículas produzidas nas colisões dos feixes, têm meia vida muito curta, portanto não são detectadas diretamente.

As partículas detectadas, são as de meia vida mais longa, carregadas ou neutras, produtos finais da interação primária do feixe de partículas

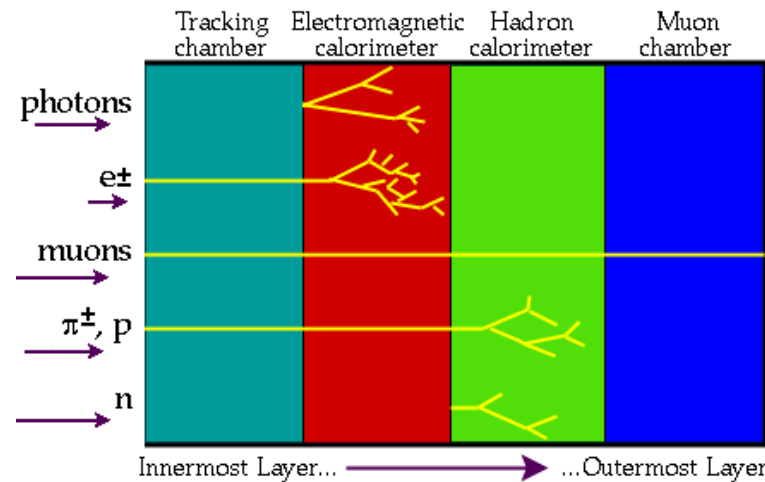
$$e^{+-}, p, \pi^{+-}, \mu^{+-}, \gamma, n, \pi^0, \nu.$$

Os detectores precisam detectar e medir as propriedades destas partículas e assim reconstruir completamente o evento.

De um modo geral os detectores medem o momento e energia, reconstruindo a massa das partículas; identificam a trajetória, medindo sua carga.

Visto que as partículas produzidas nos estágios finais, possuem características físicas diferentes, os detectores como o CMS, são constituídos pelos subdetectores, cada um dos quais registra informações relativas ao tipo de partícula de interesse.

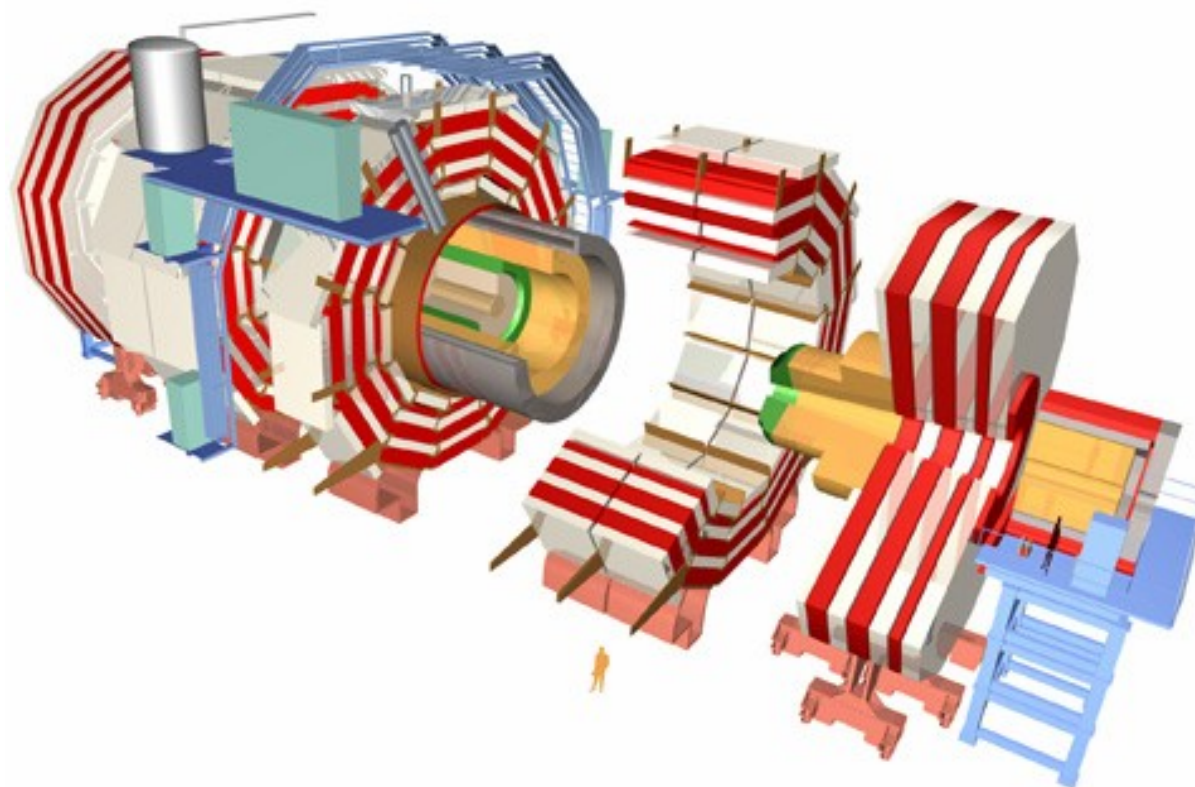
Esquema geral de um detector de colisão de feixes.

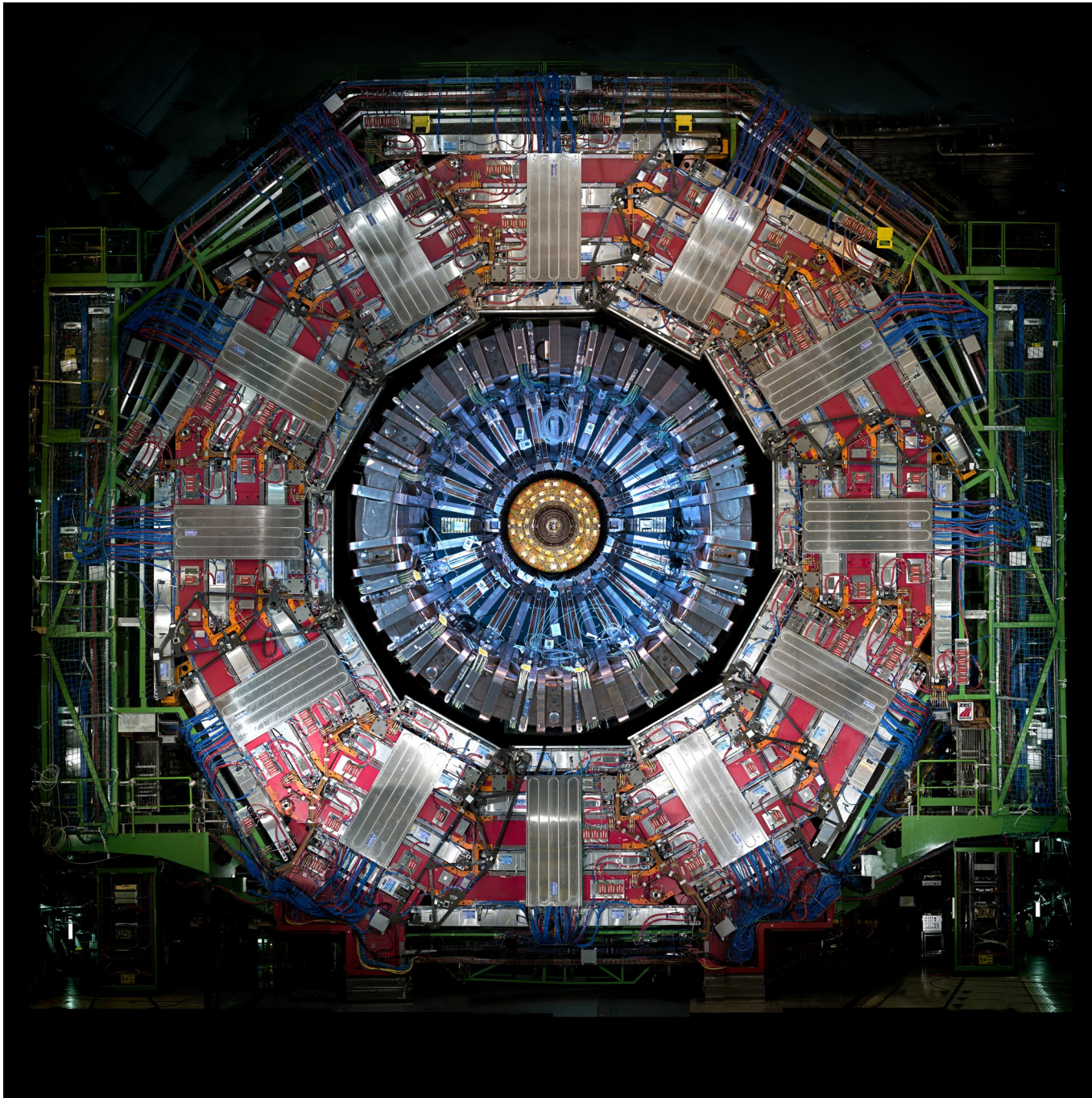


Fonte http://www.particleadventure.org/component_detector.html

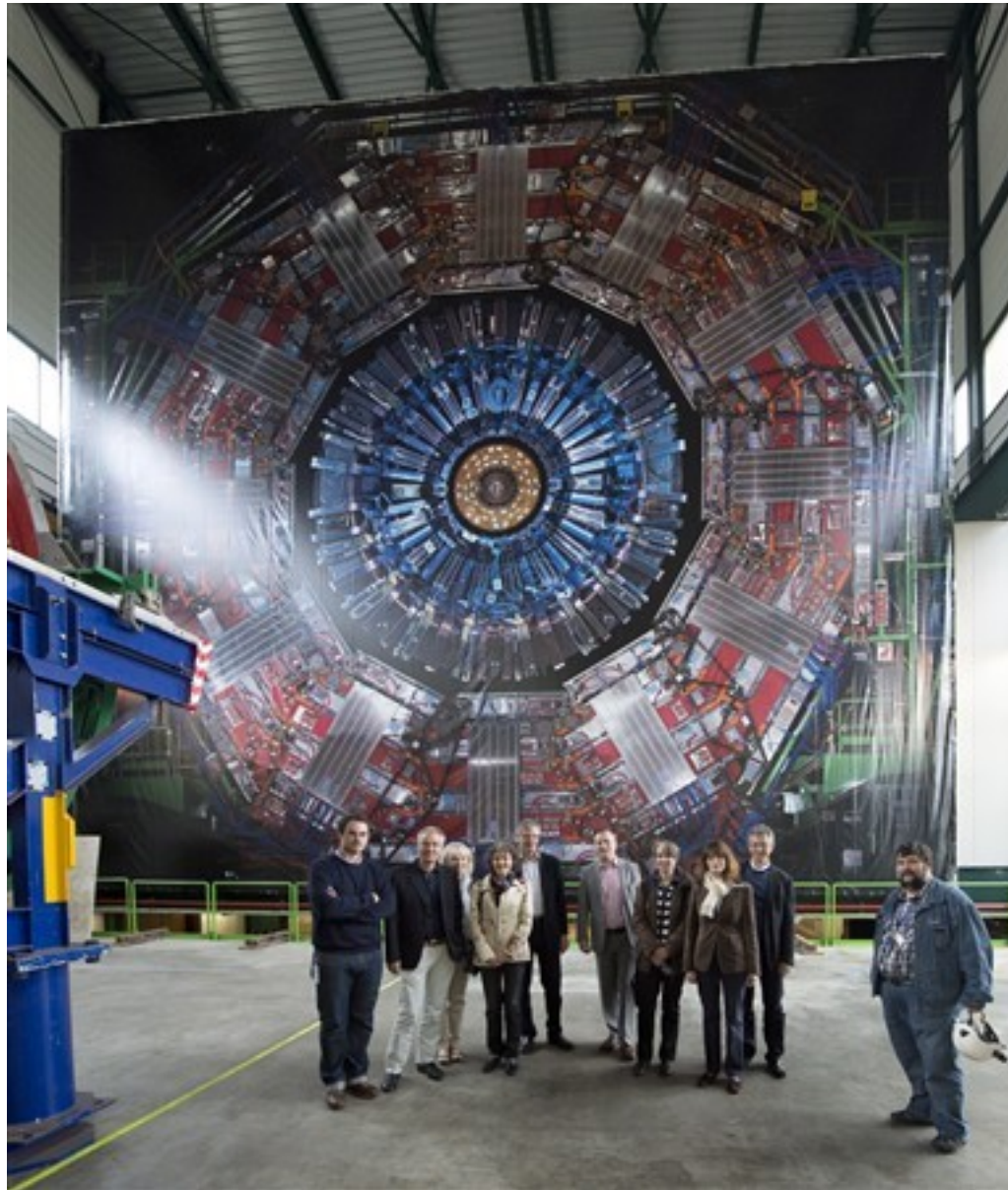
<http://cms.web.cern.ch/news/detector-overview>

Esquema do detector CMS – Central Muon Spectrometer

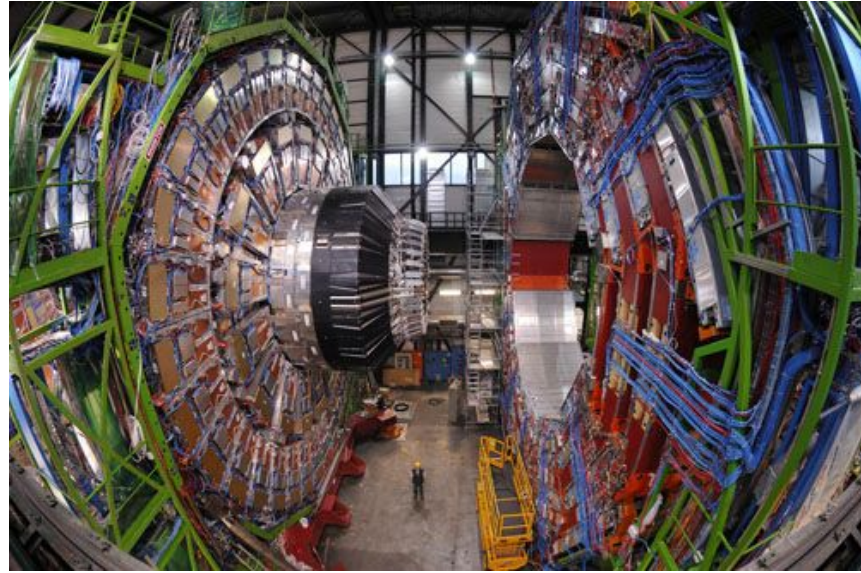




Fotos Experimento CMS



Fotos Experimento CMS



Fotos Experimento CMS

Bibliografia:

- *F. Caruso, V. Oguri & A. Santoro, Partículas Elementares: 100 anos de descobertas, EDUA – Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2005.*
- *G. C. Marques, Do que tudo é feito? EdUsp, 2010.*
- *G.D. Coughlan, J.E.Dodd and B.M.Gripaios, The Ideas of Particle Physics – An Introduction for Scientists, Cambridge University Press, Cambridge, 2006.*
- *R.M. Barnett, H. Mühry and H.R. Quinn, The Charm of Strange Quarks – Mysteries and Revolutions of Particle Physics, Springer-Verlag, New York, 2000.*
- <http://www.cern.ch>
- <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/CMS-en.html>
- <http://www.particleadventure.org>