

AS PARTÍCULAS ELEMENTARES

1- AS PARTÍCULAS INDIVISÍVEIS

Quais são os tijolinhos básicos a partir dos quais todas as coisas existentes no Universo seriam constituídas?

Há mais de 2500 anos, pensadores, filósofos e cientistas têm se dedicado a elucidar essa questão. As idéias têm evoluído muito. Hoje em dias acreditamos na existência de 61 dessas substâncias básicas a partir das quais podemos constituir tudo. Para entendermos a constituição de todos os objetos que existem, devemos começar pelas estruturas mais básicas. A tais estruturas damos o nome, hoje, de partículas elementares.

O fato, é que hoje entendemos que toda a matéria ordinária, bem como a radiação existentes no Universo são constituídos por um conjunto de objetos os quais, até o ponto que sabemos, são indivisíveis. Deveríamos chamá-los de átomos, mas esse nome já tem um sentido atualmente do qual não vale a pena abrir mão. Designamos, hoje, estes objetos indivisíveis de partículas elementares.

As partículas elementares existem desde os primórdios do universo.

Algumas partículas são muito instáveis, pois desaparecem num átmo. Ou seja, elas decaem devido às interações fracas e, por isso, desapareceram. Podemos hoje produzi-las nos grandes laboratórios de pesquisa. Hoje são partículas de proveta. Não era isso que acontecia no início do universo. Nessa fase, elas estavam, todas elas sem exceção, presentes na composição do Universo. Elas e somente elas, era tudo do que o Universo era composto. O que restou delas formaram aglomerados pequenos, primeiramente, depois aglomerados maiores e assim sucessivamente.



Fig. 1- Tabela das partículas elementares.

As partículas elementares resultam ser objetos muito curiosos. E isso, pelas seguintes razões:

Poucas são eternas.

Algumas partículas elementares sobrevivem um lapso curtíssimo de tempo. Elas são instáveis.

A maioria jamais, jamais mesmo, serão encontradas livres.

Essas partículas elementares, a maioria na realidade, só são encontradas em associação com outras. Isso é difícil de entender.

Algumas passam por processos de transmutação de um tipo em outro.

A metade dos léptons, os neutrinos, são verdadeiras metamorfoses ambulantes. Passam, continuamente por um processo de transmutação de um tipo em outro.

As partículas instáveis decaem dando lugar a diferentes objetos. O resultado final ocorre com as mais diversas probabilidades.



Fig. 2-.Decaimento.

Partículas elementares “normais” só existem duas: o elétron e o fóton. O critério de normalidade seria a de que elas sejam estáveis (ou eternas, no sentido dos gregos), não sofram transmutação, e que possam ser observadas individualmente. Nesse sentido, à exceção das já mencionadas, as partículas elementares são muito, muito estranhas.

A luz, bem como toda radiação eletromagnética, é composta de partículas elementares. Estamos aqui falando de fótons, os quais são partículas destituídas de carga elétrica e massa.

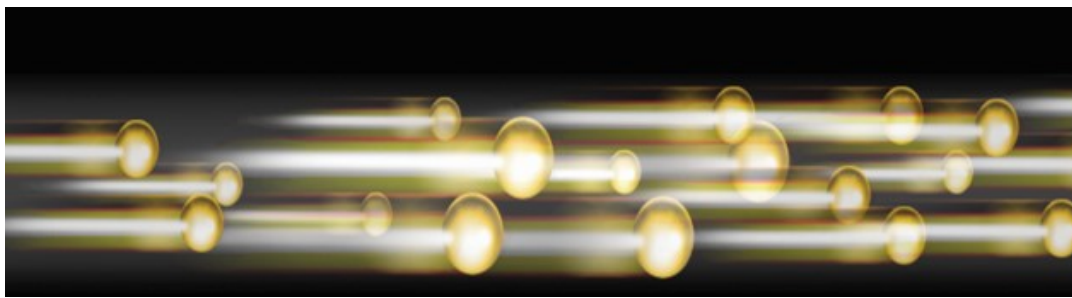


Fig. 3- Luz composta por fótons.

Os neutrinos são partículas neutras, uma delas provavelmente sem massa e que viajam (se não tem massa) pelo Universo com velocidades iguais ou próximas à velocidade da luz. É uma outra forma de radiação. Os neutrinos são abundantes no Universo, mas interagem de uma maneira muito débil com a matéria ordinária.

Os quarks (outras partículas elementares) participam da composição de uma série muito grande de outras partículas, como os prótons, os nêutrons e os mesons.

Os elétrons são fundamentais na constituição de todos os átomos no nosso mundo físico. Eles estão presentes, portanto, em todos os corpos celestes no Universo.

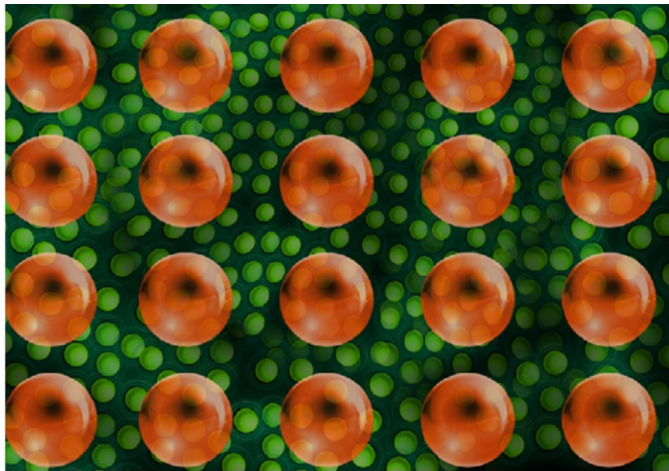


Fig. 4- Elétrons, ditos livres, ficam vagando no interior de um metal.

Citamos, rapidamente, alguns tipos de partículas elementares já considerados na Introdução. Gostaríamos agora de nos aprofundar na apresentação das características das mesmas.

Para entendermos a classificação e, à vezes, a nomenclatura empregada na descrição das partículas é importante que analisemos alguns dos principais atributos das partículas. Alguns desses atributos nos são bastante familiares (como massa e carga) mas, outros, como spin e cor são bem mais difíceis de se entender. Especialmente o último o qual não tem sequer um análogo clássico. Ou seja, o análogo de uma coisa familiar.

ATRIBUTOS DAS PARTÍCULAS

As partículas fundamentais, aquelas que compõem os átomos, possuem determinados atributos que lhe são próprios. Pode-se dizer que cada partícula é caracterizada exatamente por esse conjunto de atributos. Dentre eles, os mais conhecidos são a massa e a carga elétrica. Menos conhecido é o spin de uma partícula. E menos conhecidos ainda são atributos como estranheza ou hipercarga. Abordaremos alguns desses atributos.

Não temos uma explicação (ou seja, uma teoria convincente) para a origem da massa, da carga elétrica ou do spin das mesmas. Assim, a massa e a carga elétrica são atributos da matéria cuja origem desconhecemos. Sabemos, no entanto, que a matéria tem massa e que as partículas elementares têm carga elétrica. Como tomamos conhecimento da existência da massa e da carga elétrica e do spin? De uma forma muito simples: experimentalmente.

O que é fundamental entender é que não temos uma teoria, qualquer seja, para explicar as massas, cargas ou spin das partículas. Elas são encaradas como parâmetros fundamentais.

Assim, as partículas elementares são caracterizadas pelo fato de não serem compostas por outros objetos e se caracterizam, ou se distinguem uma das outras através de um conjunto de atributos:

MASSA (M), CARGA (Q), SPIN (S), COR, ISOSPIN, ESTRANHEZA, HIPERCARGA

Consideraremos apenas os mais simples e um dos mais curiosos, a cor.

MASSA

A massa de uma partícula é o atributo que lhe permite atrair outras partículas (em conseqüentemente, matéria). A intensidade dessa atração permite medir empiricamente a massa de um corpo. Medir é comparar essa força com a força exercida por uma massa padrão. A medida da massa baseada na atração gravitacional nos leva a uma determinação da mesma e, tendo em vista o método, essa massa é denominada de massa gravitacional. No entanto, sabemos que a massa é a medida da inércia de um corpo. Ou seja, pode-se determinar a massa a partir da força sobre uma partícula e da aceleração que ela produz. Essa forma de determinar a massa de um objeto define sua massa inercial. Até o ponto que sabemos não há distinção entre a massa gravitacional e a sua massa inercial.



Fig. 5- Quilograma padrão.

A massa da matéria é um pouco menor do que a massa dos seus constituintes. Isso porque uma parte da energia associada à massa dos constituintes é utilizada para fazer a ligação dos mesmos.

Nem todas as partículas têm massa. O fóton, os glúons, e quem sabe um dos neutrinos, são partículas destituídas de massa.

As massas das partículas em geral, elementares ou não, variam consideravelmente. Por exemplo, a massa do próton é quase duas mil vezes maior do que a massa do elétron.

Não temos qualquer explicação para as massas das partículas e conseqüentemente não podemos, de uma maneira rigorosa, explicar as diferentes massas. Massa é outro problema em aberto na física das partículas elementares.

A uma partícula com uma determinada massa - digamos m - podemos associar uma determinada energia. A relação entre essa energia e massa da partícula é aquela prevista por Einstein:

$$E = mc^2$$

onde c é a velocidade da luz no vácuo.



Fig. 6- Neutrinos.

A CARGA ELÉTRICA

A carga elétrica é um outro atributo das partículas elementares e de todos os objetos formados por eles. Algumas partículas elementares, ou compostas, não têm carga elétrica. Dizemos que são partículas neutras. O nêutron é uma delas (esse é, de fato, o significado do seu nome).

Como no caso das massas, não temos a uma explicação para elas. Sabemos apenas medi-las. Nesse sentido a carga elétrica é um conceito fundamental. Isto é a carga não deriva de outras grandezas físicas.

A existência da carga elétrica pode ser verificada, experimentalmente, da mesma forma que verificamos a existência da massa. Ou seja, através das forças exercidas, umas sobre as outras, por partículas com carga (a força elétrica).

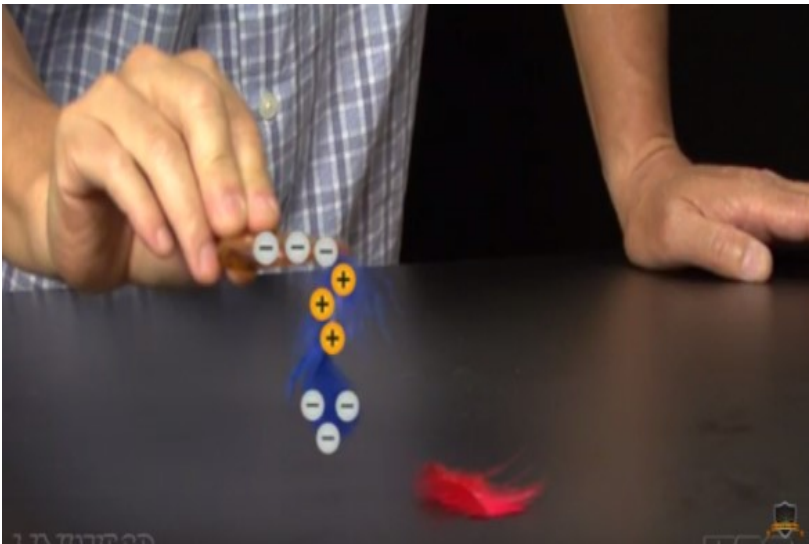


Fig. 7- Cargas elétricas existem em duas variedades, denominadas cargas positivas e cargas negativas.

Existem duas diferenças básicas entre as forças elétricas e as forças gravitacionais. Em primeiro lugar, as forças elétricas podem ser tanto atrativas quanto repulsivas (a força gravitacional é sempre atrativa). Por isso dizemos que as cargas podem diferir entre si em relação à atração e repulsão provocadas por elas. As cargas são portanto, classificadas em duas categorias: cargas positivas e cargas negativas. Os elétrons têm carga negativa. Os prótons têm carga positiva. Em módulo as cargas dos elétrons e prótons são iguais. Disso resulta que o átomo é neutro.

Cargas de sinais iguais se repelem. Cargas de sinais opostos se atraem.



Fig. 8- O elétron e o núcleo.

Outra característica importante das forças elétricas é que no nível atômico elas são bem mais intensas do que as forças gravitacionais. Isto estabelece, nesse nível, uma clara distinção entre elas.

SPIN

Impossível explicar o que é o spin de uma partícula. Isso porque o spin é uma grandeza física sem um análogo clássico. Como no caso das massas, não temos a uma explicação o spin das diversas partículas elementares. Sabemos apenas como determinar o spin de uma partícula. Mas, nesse caso, não se trata de fazer comparações.

O spin de uma partícula é uma grandeza física fundamental. Isto é, o spin, como a carga e a massa, não deriva de outras grandezas físicas.

Com o intuito de entendermos o que é o spin, recorreremos a uma imagem clássica. Consideremos um corpo rígido, como por exemplo, um pião. Quando em rotação um corpo rígido tem um momento angular.

O spin é uma propriedade das partículas elementares que em muito se assemelha ao momento angular. No entanto, essa analogia peca pela imprecisão, uma vez que uma partícula elementar não pode ser pensada como um corpo rígido, uma vez que ela não é composta por outras que giram.

O spin é uma grandeza quantizada. Assim o módulo desse vetor e a componente da mesma ao longo de um eixo são dados por

$$\vec{S}^2 = s(s+1)\hbar^2$$

$$S_z = m\hbar \quad s \leq m \leq -s$$

O número quântico s , acima, é o número quântico de spin, e \hbar é um número quântico fundamental proposto pela primeira vez por Planck e por isso recebe o nome de constante de Planck.

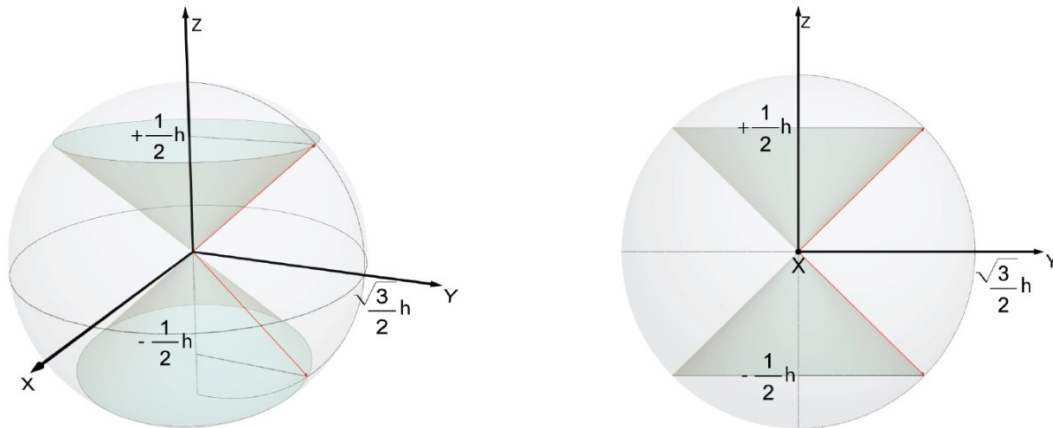


Fig. 9- Ilustração do spin do elétron.

Numa linguagem mais simples podemos dizer que o momento angular de spin só pode estar contido em certos cones no espaço. A projeção desse vetor no eixo z só pode valores inteiros

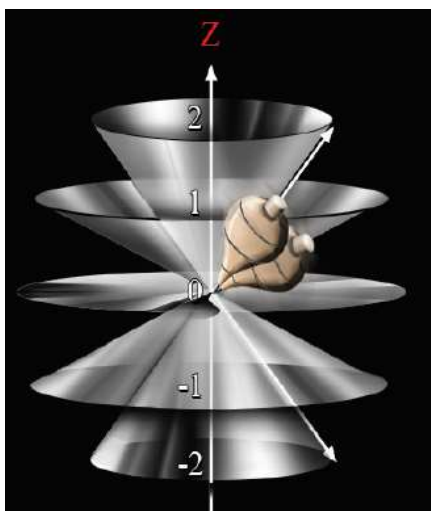


Fig. 10- Analogia com o movimento de um peão.

Quando se faz passar um feixe de partículas por uma região na qual existe um campo magnético, podemos separar partículas com diferentes valores do spin.

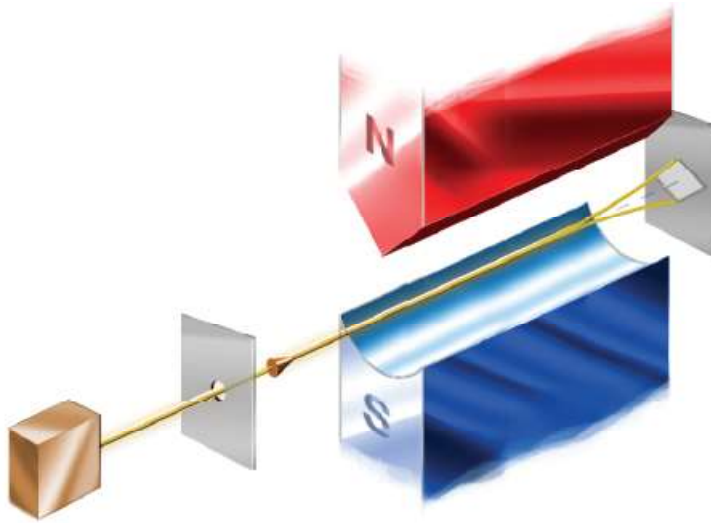


Fig. 11- A experiência de Stern-Gerlach.

O ATRIBUTO COR

As partículas têm outros atributos além da carga, da massa e do spin. No caso das interações fortes podemos mencionar três tipos de atributos. A hipercarga, a estranheza e a cor. Não se trata de cor no sentido usual. Cor é apenas uma expressão científica para designar alguma coisa para a qual não se encontrou um outro nome.

Quando nos referimos ao quark up devemos especificar um outro atributo: a cor. Por esse critério, os quarks vêm em 3 cores distintas. Ou seja, a rigor temos três tipos de quarks up. Três tipos de quark down e assim por diante. Conseqüentemente temos não 6, mas 18 tipos de quarks.



Fig. 12- Os quarks.

Os quarks diferem entre si pelo atributo cor.

A cor é um atributo muito estranho. Ela nunca pode ser vista. Ou seja, jamais conseguiremos observar uma partícula que carregue esse atributo. Essa propriedade é conhecida como **confinamento** da cor. Podemos, isso sim, observar objetos destituídos de cor. Ou seja, objetos que tenham a soma desses atributos iguais a zero.

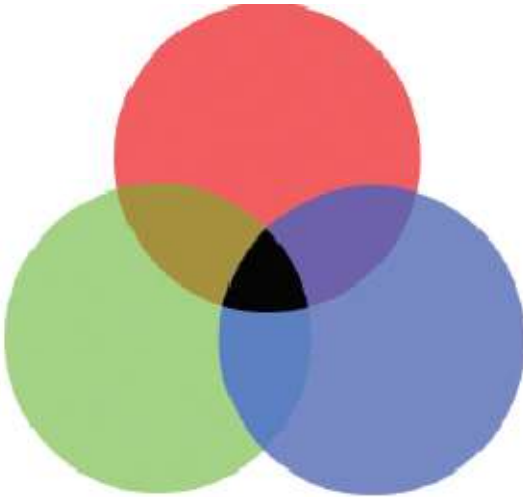


Fig. 13- As três “cores” dos quarks.

CLASSIFICANDO AS PARTICULAS

As partículas, elementares ou compostas têm, todas, três atributos os quais nos permitem caracterizá-las e distingui-las. A partir dessa distinção podemos classificar as partículas em grupos.

QUANTO À CARGA

Podemos dividir as partículas em dois grandes grupos em função da sua carga elétrica. Dizemos que uma partícula é **neutra** se ela não tem carga elétrica. Uma partícula é dita **carregada** se ela tem carga elétrica. Todos os Quarks têm cargas elétricas. Metade dos léptons também.



Fig. 14- Partícula, antipartícula.

O nome neutron deriva da propriedade dessa partícula de ser neutra. Neutrinos receberam esse nome por serem igualmente neutras.

No mundo das partículas elementares encontramos um aspecto, relativo às cargas, que se constitui ainda um mistério. Isso porque estamos habituados à ideia de que a carga elétrica é sempre um múltiplo inteiro da carga do elétron. À medida em que os Quarks foram sendo descobertos tivemos uma surpresa. As cargas elétricas de todos os Quarks são menores do que as cargas dos elétrons (e dos prótons). Além disso, para complicar as coisas um pouco mais, as cargas elétricas dos Quarks são frações de $1/3$ e $2/3$ da carga elétrica do elétron ou do próton.

As partículas carregadas são ainda classificadas em dois grandes grupos: **As partículas** e as **anti-partículas**. Isso porque, para cada partícula com uma determinada carga elétrica existe uma outra de carga oposta a essa.

QUANTO À MASSA

Muitas vezes damos nomes ou classificamos partículas levando em conta as suas massas.

Leptons é uma designação para partículas como os elétrons, ou seja, partículas com spin $1/2$, dotadas de cargas mas com massas muito pequenas. Ou seja léptons, significa partícula leve.

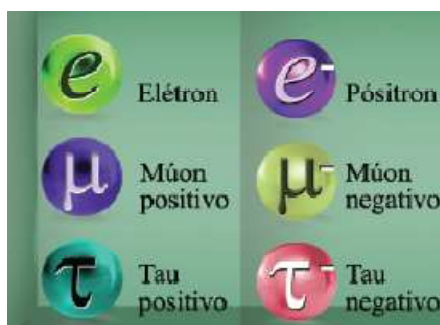


Fig. 15- Os mésons.

Mésons são aglomerados de dois quarks cujo valor das massas se situa entre a massa do elétron e a massa do próton. A palavra méson deriva da palavra grega “mesos”, cujo significado é aquilo que está no meio, ou entre duas coisas.

QUANTO AO SPIN: BOSONS E FERMIONS

Em função do número quântico de spin ser um número inteiro ou semi-inteiro, classificamos as partículas em duas grandes categorias: Os bósons são partículas cujo número quântico de spin é nulo ou assume um valor inteiro.

$$s = 0, 1, 2, \dots$$

Fótons são partículas cujo spin é zero. Átomos podem ter spin 0. Esse é o caso do átomo de Hélio, por exemplo.

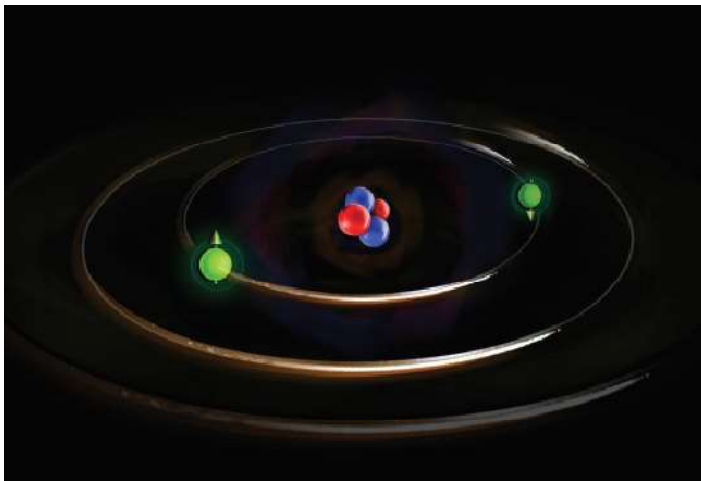


Fig. 16- O átomo de hélio-4.

Férmions são partículas para as quais o número quântico de spin é semi-inteiro,

$$s = 1/2, 3/2, 5/2, \dots$$

O elétron, o próton e o nêutron são partículas fermionicas. Como resultado disso, o átomo de hidrogênio se comporta como um férmion.

Existe uma grande diferença do ponto de vista estatístico ao tratarmos férmions e bósons.

Bósons se comportam como partículas indistinguíveis que podem ser colocadas em grande número num determinado nível quântico.

Férmions são diferentes. Eles obedecem a um princípio geral estabelecido por Pauli, conhecido como **princípio da exclusão**. Por esse princípio fica sendo excluída a possibilidade de se encontrar dois férmions iguais. Por iguais entendemos férmions que tenham todos os números quânticos associados a eles iguais. Assim, se num determinado átomo um elétron estiver numa determinada subcamada de energia, nele só podemos ter dois elétrons. Cada um deles tendo

numero quântico de spin $m = +1/2$ e $m = -1/2$. Veremos que o princípio da exclusão de Pauli nos levará a duas estatísticas diferentes.

QUANTO ÀS INTERAÇÕES

Pode-se classificar as partículas quanto às interações.

Designamos de Bósons intermediários das interações fracas aos bósons que só participam dessa interação. Esses bósons são em número de 3.



Fig. 17- Os bósons intermediários.

Os Glúons participam apenas da interação forte. Por isso, eles são designados de bósons intermediários das interações fortes. A razão para a palavra intermediário será explicada oportunamente.

As partículas compostas predominantemente como efeito das interações fortes são conhecidas. Genéricamente, como **Hádrons**. Os hádrons se dividem em duas grandes classes de partículas: Mésons e Bárions.