

AS PARTÍCULAS ELEMENTARES

1- INTRODUÇÃO

Na medida em que todas as coisas existentes no Universo são constituídas a partir delas, as substâncias mais fundamentais dentre todas até o ponto que sabemos, são as partículas elementares. Essas substâncias fundamentais correspondem assim ao que alguns gregos denominavam átomos, e outros, substâncias básicas ou apeíron. Neste capítulo vamos apresentá-las. Deixaremos a discussão em torno da constituição dos diversos objetos no Universo, inclusive as demais substâncias básicas, para os próximos capítulos.

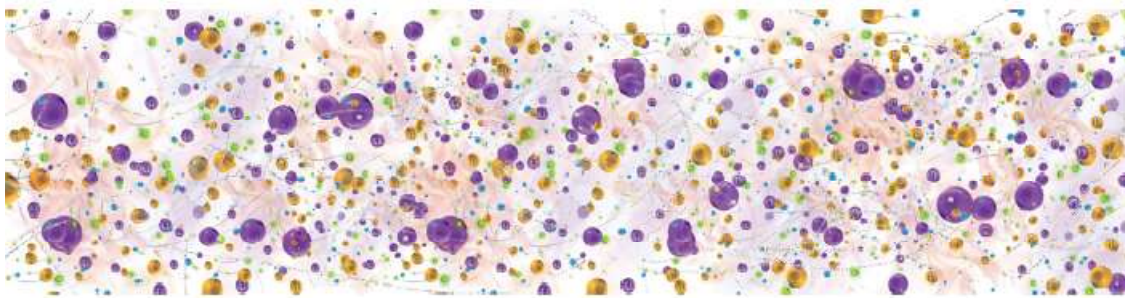


Fig. 1- Imagina-se que o Universo inicialmente seria construído de uma “sopa cosmic” de partículas e antipartículas. Por que só um tipo prevaleceu?

Todos os processos acontecendo no Universo resultam de determinadas sequências de transformações envolvendo as partículas elementares. Assim, conhecer as partículas elementares é o primeiro passo para entender todos os fenômenos ocorrendo no Universo. Esse fato não é fácil de reconhecer em relação aos fenômenos ocorrendo no nosso mundo físico, e às vezes isso não é importante, mas é essencial para entender alguns processos ocorrendo nas várias partes do Universo.

Neste capítulo apresentaremos as Partículas Elementares conhecidas nos dias de hoje, amanhã o quadro pode ser radicalmente diferente. Nesse pequeno mundo não se tem garantia absoluta sobre nada. Veremos que as partículas elementares têm apenas uma coisa em comum: elas são, até o ponto que sabemos, indivisíveis. É esse aspecto que ficou incorporado ao termo “elementar”. Outra partícula é prevista, a partir de considerações teóricas: o gráviton. Por isso, quando fixamos o número em 61 partículas elementares estamos excluindo o gráviton.

É fácil explicar o que significa o qualificativo elementar acrescentado à palavra partícula. Elementar nesse contexto significa indivisível. No entanto, é muito mais difícil explicar o que seja partícula. É importante observar que usualmente, na física do cotidiano, por exemplo, nos referimos a partícula como sendo um objeto puntiforme (diminuto, portanto) e dotado de um ou dois atributos: a massa e, quando for o caso, a carga elétrica. Hoje sabemos que uma partícula é algo dotado de muitos atributos, pois com o tempo, o número de atributos aumentou consideravelmente.

O fato importante a ser evidenciado é que as partículas elementares possuem determinadas características (ou atributos), as quais nos permitem classificá-las e distingui-las uma das outras. Alguns desses atributos, como cor e spin, são mais difíceis de serem entendidos.

Outros há, no entanto, que são mais fáceis de explicar. Neste capítulo, discutiremos as características básicas, os atributos, de uma partícula e como, com base nas mesmas, podemos classificá-las. Abordaremos apenas quatro atributos, deixando de lado alguns outros. Considerando-se a distinção entre partículas e antipartículas, temos um total de apenas 61 partículas elementares. Este número é bem maior do que 1, 4 ou 5, números imaginados por alguns dos grandes filósofos gregos do passado, mas bem menor do que infinito, número esse apreçoado pelos primeiros atomistas. Esse conjunto de objetos comparece na composição de tudo no Universo e, de acordo com a teoria do Big-Bang, seria, numa de suas fases, tudo que nele teria existido. Apenas duas delas, e duas compostas, entram na composição do Universo visível. Assim, de uns poucos blocos compomos o lego do Universo.

u Up	\bar{u} Antiup	d Down	\bar{d} Antidown
c Charm	\bar{c} Anticharm	s Strange	\bar{s} Antistrange
t Top	\bar{t} Antitop	b Bottom	\bar{b} Antibottom
Z Partícula Z	W^- Partícula W	W^+ Partícula W+	G Glúons
			γ Fóton
e^- Elétron	e^+ Pósitron	ν_e Neutrino do elétron	$\bar{\nu}_e$ Antineutrino do elétron
μ^+ Múon positivo	μ^- Múon negativo	ν_μ Neutrino do múon	$\bar{\nu}_\mu$ Antineutrino do múon
τ^+ Tau positivo	τ^- Tau negativo	ν_τ Neutrino do tau	$\bar{\nu}_\tau$ Antineutrino do tau

colocar o Higgs



Fig. 2- Tabela de partículas elementares

2- ANTIPARTÍCULAS

As partículas elementares, bem como átomos, núcleos e partículas compostas podem existir em duas variedades distintas. Vivemos num mundo no qual predomina uma das variedades de substâncias básicas. Para melhor entendimento dessa questão, devemos analisar as duas variedades no contexto das partículas (elementares ou compostas)

Existem partículas que são cópias opostas de outras. A existência de pares de partículas que têm um conjunto de atributos iguais e alguns atributos opostos é um dado surpreendente, mas real. A essas cópias opostas damos o nome de antipartículas. Muitas vezes, em condições absolutamente iguais, a partícula e sua antipartícula exibirão propriedades opostas. Por exemplo, sob a ação de um campo magnético uniforme, uma se desvia para a direita enquanto a outra se desvia para a esquerda. Historicamente essa foi, na verdade, a forma de identificar as duas variedades de partículas.

A existência de opostos nos remete a uma questão fundamental para a qual ainda não temos qualquer explicação. Sabemos apenas que isso ocorre e sabemos também como descrever as

duas variedades de partículas. Não temos ainda uma boa explicação para a prevalência, no mundo e no Universo, de uma variedade sobre a outra.

Para partículas carregadas definimos uma antipartícula como sendo outra partícula que tem tudo igual à primeira (massa e spin, para simplificar), exceto a carga elétrica. A carga elétrica das antipartículas tem o sinal oposto ao das cargas das partículas. Podemos dizer que a partícula elementar e sua antipartícula formam um par. Em geral, trata-se de um par com alguns atributos opostos, além da carga elétrica.

Todos os léptons e quarks aparecem aos pares. Assim, todo quark tem uma antipartícula denominada de antiquark. O mesmo ocorre com os léptons.

Toda partícula dotada do atributo carga elétrica, têm necessariamente uma antipartícula. Assim é que o W , uma partícula intermediária, tem uma antipartícula. Partículas neutras podem, ou não ter uma antipartícula. Para partículas neutras, como os neutrinos, a definição de antipartícula é um pouco mais complexa. No caso dos neutrinos, a complexidade se aplica tanto para explicar, teoricamente, o que é sua antipartícula como em relação à diferenciação, do ponto de vista experimental, entre eles.

Podemos produzir em laboratório anti-núcleos e anti-átomos. Até o momento, anti-moléculas e anti-matéria são possibilidades apenas teóricas.



Fig. 3- Algumas partículas têm o seu oposto. A esses opostos chamamos antipartículas 3.

3- BÓSONS E FÉRMIONS

Existem muitas formas de classificar as partículas elementares. Uma forma já foi utilizada acima, pois ao classificá-las de partículas e antipartículas estamos classificando-as quanto à carga elétrica. Podemos ainda classificá-las quanto à massa, quanto ao spin, gerações, etc.

A seguir classificaremos as partículas quanto ao seu atributo spin.

Em função do número quântico de spin de uma substância básica ser um número inteiro ou semi-inteiro, podemos classificá-las em duas grandes categorias: bósons e férmions.

- BÓSONS

Bósons são substâncias básicas cujo número quântico de spin é nulo, ou assume um valor inteiro.

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

Fótons são partículas cujo spin é zero. Núcleos podem ter um número quântico de spin inteiro ou nulo. Átomos podem ter spin 0. Esse é o caso do átomo de hélio, por exemplo.

Temos absoluta certeza de que existem 12 bósons. Oito deles recebem o nome genérico de glúons. Na tabela ao lado apresentamos os bósons já identificados, experimentalmente. Destacamos, nessa tabela, o fóton, que é, sem dúvida, o bóson mais conhecido de todos.

Suspeitamos ainda da existência de mais dois tipos de bósons, denominados de grávitons e Higgs. A questão da existência de ambos é objeto de grande interesse, e por isso muito investigada. Não temos evidências experimentais para a existência dessas substâncias fundamentais.

- FÉRMIONS

Por definição, férmions são objetos tais que o número quântico de spin adquira valores semi-inteiros. Ou seja, Férmions são partículas para as quais o número quântico de spin é tal que:

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

Os férmions, em número de 36, são os mais abundantes entre as partículas elementares. Nesse caso eles são divididos em duas categorias: léptons e quarks. Temos seis tipos de léptons e seis tipos de quarks. Ocorre que estes últimos têm um atributo que os distingue, conhecido como cor, e, portanto, a rigor temos 18 tipos de quarks.

O elétron, o próton e o nêutron são partículas fermiônicas. 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 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 número quântico de spin $m = +1/2$ e $m = -1/2$.

4- FERMIONS: LEPTONS E QUARKS

Por conta de grandes diferenças nos atributos dos férmions fundamentais, Nós os dividimos em dois subgrupos distintos. No primeiro temos as partículas elementares denominadas léptons que são leves, quando consideramos as massas das partículas pertencentes à mesma *família*. Esse conceito é introduzido com o intuito de classificar as partículas fundamentais a partir do que elas têm em comum quando participam das interações fundamentais. Distinguimos dois tipos de léptons a partir do atributo carga elétrica. Aquelas partículas destituídas de carga são denominadas neutrinos.

No outro grupo encontramos os quarks. Eles estão entre as partículas mais pesadas e com atributos muito diferentes das demais pertencentes ao primeiro grupo. Existem em variedade muito maior. São 18 no total. Todos eles compartilham dessa propriedade estranha de nunca mostrarem sua face em público. Só aparecem em grupos.

5- LEPTONS

Existem 6 tipos de léptons, bem como 6 tipos de anti-léptons (suas anti-partículas). Temos, portanto, um total de 12 léptons. Léptons podem exibir até 3 tipos de interação: gravitacional, fraca e eletromagnética. Em função de serem dotadas ou não do atributo carga elétrica, dividimos esse grupo de férmions em duas categorias. Na primeira temos as partículas carregadas denominadas elétron, múon e tau. Na segunda, temos mais três partículas neutras conhecidas como neutrinos.



Fig. 4- Os leptons.

Os léptons formam um conjunto de partículas elementares caracterizadas pela sua leveza. Estas partículas elementares têm as menores massas, quando comparadas às demais desde que pertencentes a certo tipo de agrupamento conhecido como família.

O elétron é de longe a partícula mais conhecida desse grupo. Ela está muito presente no cotidiano das pessoas. A eletrização ocorre quando eles afloram nos materiais condutores. A corrente elétrica, que flui nesses materiais, é o resultado do movimento dessas diminutas partículas. Estão presentes em alguns fenômenos naturais como os relâmpagos e os raios. Eles exibem os três tipos de interações apontadas antes.

Elétrons são muito abundantes no Universo e são muito importantes no entendimento dos fenômenos associados à matéria comum. Por essas paragens os elétrons se mantêm em número constante. O mesmo não ocorre no Universo como um todo. Em alguns ambientes eles são consumidos a uma taxa assustadora.

Alguns léptons, denominados muon e tau, têm em comum com o elétron o fato de terem a mesma carga elétrica, além do mesmo spin. Quanto aos atributos massa e estabilidade elas são muito diferentes do elétron.

O múon μ e o tau τ sobrevivem muito pouco tempo quando são produzidas. Isso por conta da instabilidade, uma das marcas registradas dessas partículas. Ademais elas são muito raras. Nesse sentido podemos dizer que elas são “partículas de proveta”, ou seja, elas são fabricadas a conta gotas nos grandes laboratórios de hoje.

O múon foi descoberto no ano de 1937 por Seth Neddermyer e Carl Anderson. Aquele encontrado por eles resultou da colisão de raios cósmicos com moléculas na atmosfera terrestre. Existem dois tipos de múons: o μ^+ e o μ^- . Um tipo de múon é a anti-partícula do outro.

A descoberta do tau é mais recente, aconteceu no ano de 1976. É uma partícula por demais instável. Por conta disso, sua detecção só se dá por um via indireta.

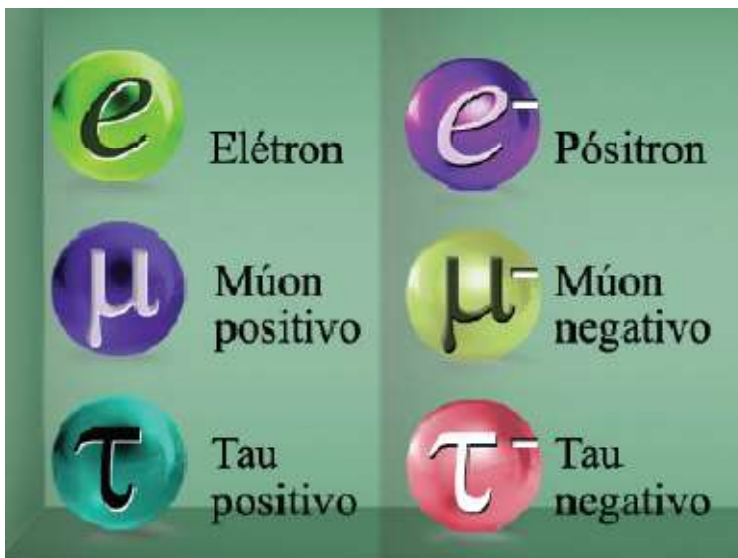


Fig. 5- Os mésons.

Não existem muitas fontes de múons e taus no nosso mundo. Eles são produzidos artificialmente nos aceleradores de partículas, em processos de colisões. As fontes naturais de múons se localizam na atmosfera terrestre. Tais partículas resultam da colisão de raios cósmicos com os núcleos dos átomos das moléculas que compõem a atmosfera terrestre.

Conquanto se acredite que múons e taus tenham desempenhado um papel importante nos primeiros instantes do Universo, eles não são importantes para entender nem o Universo como um todo nos dias de hoje, nem tampouco os corpos celestes dos quais ele é feito.

6- NEUTRINOS

O outro grupo de partícula pertencente ao conjunto dos léptons são partículas denominadas neutrinos. De tão leves, chegou-se a pensar, durante várias décadas, que tais partículas teriam massa nula. Ou seja, seriam partículas sem massa. No caso de uma delas, de acordo com a tabela (000), a massa é muito próxima de zero.

Essas partículas, os neutrinos, não têm carga elétrica. Daí deriva seu nome. Nesse sentido, teriam algo em comum com fótons. Apesar disso eles têm anti-partículas. A diferenciação entre partículas e anti-partículas nesse caso não está associada ao aspecto da carga elétrica.

Neutrinos são partículas muito abundantes no Universo. Em número, só os fótons competem com elas. Ademais, como no caso dos fótons, seu número aumenta continuamente. Cada próton (ou elétron) queimado no processo de evolução estelar acrescenta um neutrino a mais na composição do Universo.

Neutrinos trafegam pelo espaço sideral sem tomar conhecimento do que nele existe. Isso ocorre porque eles interagem com a matéria de uma forma muito débil. Por isso, é muito difícil detectá-las. Desse fato resulta que conhecemos pouco a respeito de tais partículas.

Apesar de serem classificadas como léptons, elas são muito diferentes dos elétrons e das demais partículas analisadas acima, ou seja, dos muons e dos taus. Em primeiro lugar, eles só interagem por meio da interação fraca. A interação gravitacional, para aqueles que têm massa, é muito débil.

Como apontado acima, suas massas são muito pequenas, mesmo comparadas à massa do elétron. Não sabemos o valor dessas massas com muita precisão.

Os neutrinos experimentam um processo de metamorfose conhecido como oscilação. É um caso único dentre as todas as partículas elementares.

A rigor os neutrinos são as substâncias fundamentais cujas propriedades são as mais intrigantes dentre todas. Por isso, são aquelas que hoje despertam uma grande curiosidade científica.

São conhecidos hoje três tipos de neutrinos. Podemos imaginar ainda 3 anti-partículas para o neutrino. Isso, no entanto, é possível apenas em tese, pois existe a possibilidade de que o neutrino seja sua própria anti-partícula. Essa conjectura foi feita pela primeira vez por Ettore Majorana, há cerca de 60 anos. O fato é que isso é uma questão em aberto ainda. Onde se infere que muito há que se aprender ainda sobre essas partículas.

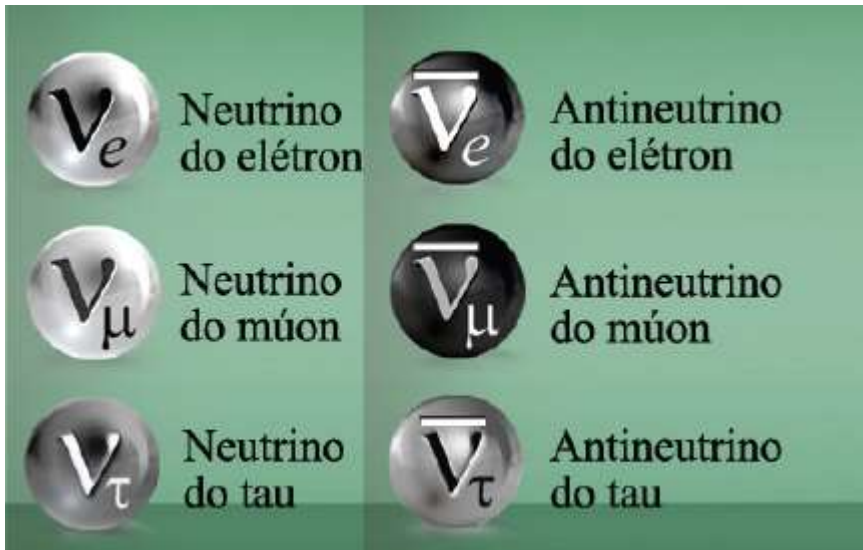


Fig. 6- Os neutrinos.

Os três tipos de neutrinos têm o seu nome associados aos léptons descritos anteriormente. Temos assim o neutrino do elétron, o neutrino do múon e o neutrino do tau. Isso ocorre porque tais partículas são as parceiras das interações dos respectivos tipos de neutrinos. Ou seja, processos nos quais o neutrino do elétron participa os elétrons também participam, mas apenas elétrons. Processos dos quais o neutrino do múon participa, só os múons (e necessariamente) participam processo. Isso justifica os nomes dados a essas partículas, de neutrino do elétron, neutrino do múon e de neutrino do tau. São tipos de neutrinos que interagem preferencialmente com essas partículas.

O primeiro neutrino, o neutrino de elétron, foi previsto por Wolfgang Pauli e prontamente incorporado na teoria de Fermi, a primeira teoria das interações fracas. No entanto foram necessários mais de 25 anos, a partir da hipótese de Pauli, até que esse primeiro tipo de neutrino viesse a ser detectado. Frederick Reynes e Clyde Cowan foram os responsáveis por esse feito notável. Esse fato ilustra a dificuldade de detecção dessas partículas. A massa desse neutrino continua sendo um mistério. Não está descartada a hipótese desse neutrino, o neutrino do elétron, ter massa nula. Mas, pode ser que ele tenha apenas uma massa muito pequena.

7- OS QUARKS

Mais da metade das partículas elementares pertencem a esse grupo curioso de substâncias fundamentais. Entre partículas e antipartículas, temos 36 delas. São partículas instáveis e exibem as quatro interações fundamentais conhecidas.

Cada quark vem em três cores distintas.

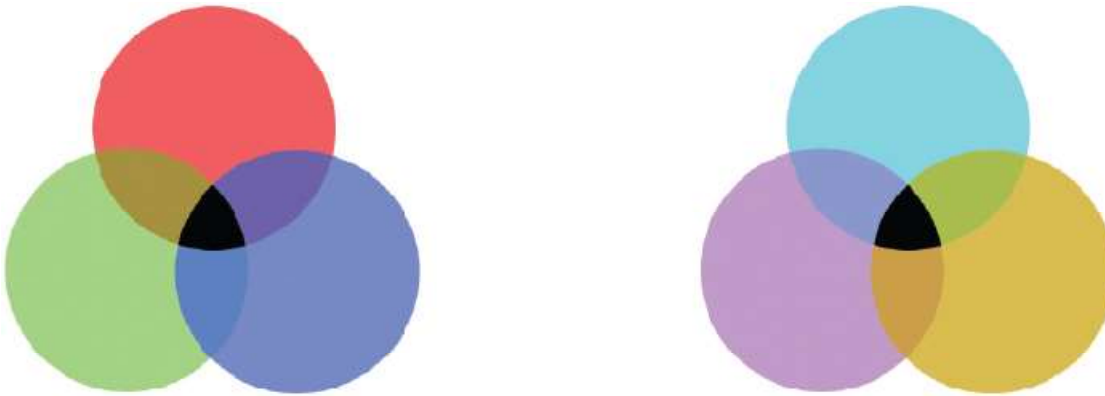


Fig. 7- Quarks e gluons possuem o atributo cor. Consideramos três cores e três anticor.

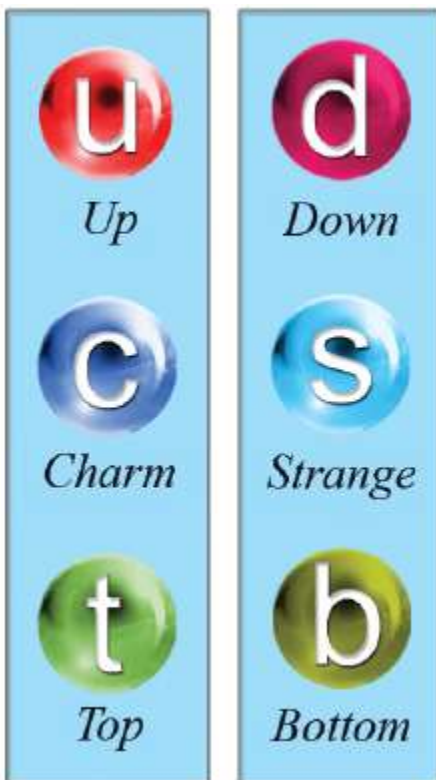


Fig. 8- Os seis “sabores” de quarks. Cada sabor vem em três “cores”.

Quarks são muito diferentes dos demais léptons e das demais partículas, pois exceto pelo spin, todos os demais atributos são diferentes. Além disso, elas possuem um atributo que os demais léptons não têm. Trata-se do atributo cor mencionado no capítulo anterior.

	<i>Up</i>	$+2/3$
	<i>Down</i>	$-1/3$
	<i>Charm</i>	$+2/3$
	<i>Strange</i>	$-1/3$
	<i>Top</i>	$+2/3$
	<i>Bottom</i>	$-1/3$

Fig. 9- Quarks possuem cargas fracionárias, em relação à do elétron.

O fato de terem cor faz muita diferença, uma vez que todos os objetos coloridos, aqueles que têm esse atributo, não podem ser observados. Trata-se da propriedade denominada confinamento. Isso faz com que tais partículas se encontrem aprisionadas em sacolas contendo uns poucos quarks: dois ou três deles.

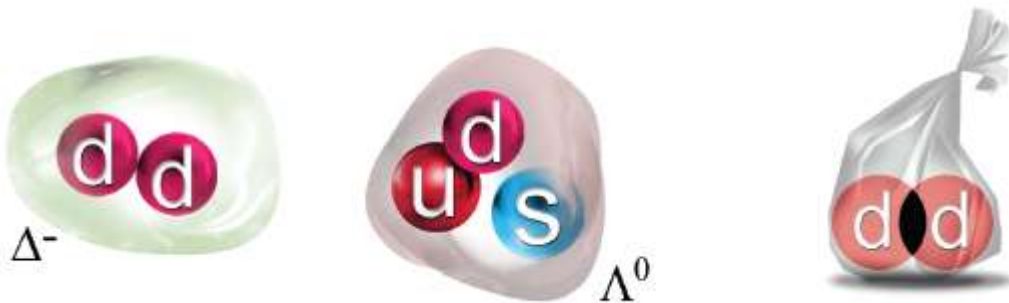


Fig. 10- Hádrons são partículas constituídas a partir de dois ou três quarks.

As partículas elementares diferentes dos quarks são partículas que, quer sejam instáveis, mutantes ou eternas, podem ser detectadas individualmente, uma a uma. Podemos identificar cada uma delas. Utilizando uma emulsão nuclear ou uma câmara de bolhas, por exemplo, podemos constatar que a esse traço, ou pegada, corresponde uma determinada partícula, ali outra, e assim por diante.



Fig. 11- Existem compostos formados de antipartículas. Este é o caso do antipróton e do antinêutron. Os mésons também exibem antipartículas.

Os quarks jamais serão identificados isoladamente, qualquer que seja o equipamento empregado. Os quarks nunca estão livres, voando pelo espaço. Estão ligados uns aos outros. Estão confinados, presos uns aos outros. A observação dessas partículas se dá, portanto, apenas de uma forma indireta.

Essa propriedade curiosa nos remete à seguinte questão: como, afinal, sabemos que elas existem?

A constatação da existência dos quarks decorre de observações indiretas. Nos últimos 30 anos, o que se observa é que o comportamento de partículas como os prótons e nêutrons revelam a existência de uma estrutura para tais partículas, estrutura essa que em tudo é compatível com a existência de quarks.

Quarks são instáveis. Alguns deles estão entre as partículas mais instáveis dentre todas.

Outro aspecto surpreendente dos quarks é a sua carga elétrica. Eles têm uma carga que é uma fração de $2/3$ ou de $1/3$ da carga do elétron. Por terem carga, os quarks têm suas partículas opostas, as antipartículas. Os antiquarks têm uma carga de $2/3$ e de $1/3$ da carga do pósitron.

Ocorre que, por não existirem isoladamente, nunca veremos uma partícula elementar com uma carga fracionária. O que observamos são agregados de partículas, de forma que a carga elétrica dos objetos compostos ou é nula ou assume um valor múltiplo da carga do elétron.

8- OS BÓSONS INTERMEDIÁRIOS

Um aspecto surpreendente a respeito das interações é que elas ocorrem por meio de um processo de intermediação. Uma partícula elementar interage com outra mediante a troca de partículas. A tais partículas damos o nome de Bósons Intermediários. A razão para esse nome é bem simples, todas as partículas intermediárias (aquelas que são trocadas) são partículas que têm spin 1. São partículas bósonicas, portanto.

Cada interação faz uso de um conjunto de partículas intermediárias. Esse número varia de 1 a 8.

Até o momento conhecemos doze bósons intermediários. Suspeitamos da existência de outro bóson intermediário: o gráviton. As doze partículas elementares já conhecidas têm spin 1. O gráviton, se existir, terá spin 2. Outra partícula elementar hipotética, agora de spin zero, seria o

Higgs. Tendo em vista a incerteza sobre a existência dessas partículas, de agora em diante descartaremos o Higgs e o gráviton como substâncias básicas.

A grande maioria dos bósons intermediários foi descoberta há bem pouco tempo. Desde os idos da teoria de Fermi para as interações fracas, formulada em meados do século XX, até o início dos anos 70, não se acreditava que a força fraca fosse mediada por partículas elementares. No entanto, uma teoria instabilidade desses bósons intermediários decorre a instabilidade intrínseca das partículas que com eles interagem. Os decaimentos das partículas compostas, por exemplo, acontecem por conta da produção dessas partículas intermediárias, em alguma etapa do processo. Elas são assim a causa da instabilidade, aqui denominada intrínseca, dos próprios constituintes da matéria.

As partículas intermediárias podem ser produzidas, por exemplo, em processos de fusão de duas partículas onde é produzida apenas uma dessas partículas. O Z, por exemplo, resulta de um processo de aniquilação de duas partículas: um quark e um antiquark.

Dentre os doze bósons intermediários, o único tangível é o fóton. Desse grupo, 8 partículas elementares jamais serão vistas. Ademais, três delas são por demais efêmeros. Elas só são detectáveis de uma forma indireta. Essas partículas elementares só participam de processos de transição dos compostos da matéria. Não as vemos, mas detectamos seus efeitos. Alguns efeitos, como as supernovas, são simplesmente espetaculares.



Fig. 12- Os bósons intermediários conhecidos.



Bósons intermediários que interagem fracamente.



Bóson intermediário que interage eletromagneticamente.



Fig. 13. Bóson intermediário que interage fortemente.

9- FÓTON- A PARTÍCULA INTERMEDIÁRIA DAS INTERAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS

O fóton é outra partícula elementar que faz parte do nosso dia-a-dia, pois a luz é constituída de um grande número de fótons. Dizemos que a luz é um pacote de fótons, um número extraordinário de fótons. O fóton é um dos 12 bósons conhecidos e já aludidos acima. Também é, como o elétron, eterno e indivisível. Como veremos, os fótons são partículas muito abundantes no Universo.

Os fótons compõem a luz e o mesmo se pode afirmar em relação às ondas eletromagnéticas em geral. Por exemplo, o processo de frenagem de elétrons resulta na produção de um grande número de fótons. Esses fótons compõem os raios X. Eles diferem dos fótons que compõem a luz apenas por terem maior energia.

O Fóton só foi reconhecido como uma das partículas elementares depois da descoberta, e da interpretação, do efeito Compton. Pode-se, portanto, dizer que a comprovação cabal e irrefutável da existência do fóton, como partícula, ocorreu há apenas 80 anos,

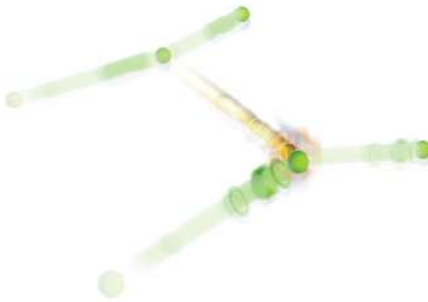


Fig. 14- Mediação em duas, de uma interação eletromagnética.



Fig. 15- Raios luminosos são compostos por fótons.

O fóton é outra partícula elementar que faz parte do nosso dia-a-dia, pois a luz é constituída de um grande número de fótons. Dizemos que a luz é um pacote de fótons, um número extraordinário de fótons. O fóton é um dos 12 bósons conhecidos e já aludidos acima. Também é, como o elétron, eterno e indivisível. Como veremos, os fótons são partículas muito abundantes no Universo.

Os fótons compõem a luz e o mesmo se pode afirmar em relação às ondas eletromagnéticas em geral. Por exemplo, o processo de frenagem de elétrons resulta na produção de um grande número de fótons. Esses fótons compõem os raios X. Eles diferem dos fótons que compõem a luz apenas por terem maior energia.

O Fóton só foi reconhecido como uma das partículas elementares depois da descoberta, e da interpretação, do efeito Compton. Pode-se, portanto, dizer que a comprovação cabal e irrefutável da existência do fóton, como partícula, ocorreu há apenas 80 anos, lançada no final dos anos 60, previa acertadamente, como se viu mais tarde, a existência de 3 tipos de bósons mediadores das interações fracas.

Os bósons mediadores das interações fracas são muito efêmeros. Da Os Bósons intermediários têm duas coisas em comum: são partículas bosônicas (têm spin inteiro) e são as responsáveis pela intermediação das interações, ou seja, aquilo que usualmente definimos

como forças, resultam da troca dessas partículas. Essas duas características foram incorporadas ao nome desse grupo de partículas.

10- AS PARTÍCULAS MEDIADORAS DAS INTERAÇÕES FRACAS

A característica marcante das interações fracas é a instabilidade. É um tipo de instabilidade inerente aos constituintes. Como resultado, tudo que interage fracamente se desfaz. A instabilidade dos constituintes da matéria e algumas instabilidades da própria matéria são uma decorrência direta da instabilidade desses bósons intermediários. Essas partículas mágicas desaparecem num átimo de tempo dando origem, por exemplo, a outras duas partículas elementares, de acordo com a figura 14.8. Esse tipo de decaimento é possível, mas ocorre em cerca de 30% dos decaimentos. Essa é sua probabilidade em relação às demais possibilidades de ocorrência (probabilidade relativa).

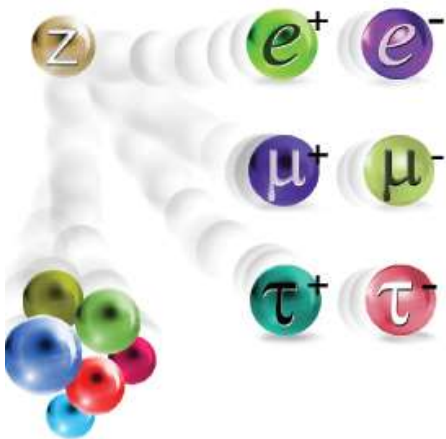


Fig. 16- Possíveis modos de decaimento do Z.

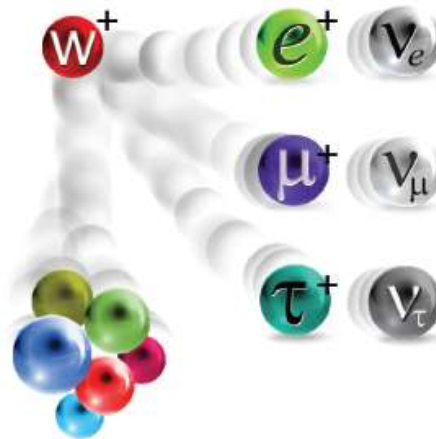


Fig. 17- Possíveis modos de decaimento do W. Alguns resultam de interações 3 a 3.

A palavra mediadora aqui tem um significado todo especial, porquanto, como resultado da intermediação, o sistema original será completamente desfeito. As interações que envolvem essas partículas são as mais mágicas entre todas. Quando elas intervêm, não sobra “pedra sobre pedra”. Com elas temos mudanças radicais, com diferentes probabilidades de ocorrência. Nas duas tabelas abaixo temos quatro modos preferenciais, de decaimento do Z e do W. Na mesma tabela apresentamos as probabilidades relativas de ocorrência de cada um dos modos. Note-se que o modo que ocorre com maior probabilidade é aquele no qual, no estado final, o W ou o Z se desmancha produzindo hádrons, isto é, partículas compostas. Até algumas centenas dessas partículas podem ser produzidas no processo de decaimento. Isso sim é verdadeiramente mágico: é como se da cartola do mágico tivesse saído uma jamanta.

Os bósons intermediários das interações fracas interagem apenas três a três ou quatro a quatro, nunca dois a dois.

11- AS PARTÍCULAS MEDIADORAS DAS INTERAÇÕES FORTES

As partículas mediadoras das interações fortes recebem o nome de glúons. Existem oito tipos de glúons os quais se diferenciam entre si pelo atributo cor. Os gluóons carregam dois tipos de cor: uma cor e uma anticor. Nesse caso deveríamos ter 9 glúons e não oito, mas por razões de natureza matemática o número certo é 8.



Fig. 18- Alguns dos oito glúons.

Por serem dotadas do estranho atributo denominado cor, os glúons, assim como os quarks, são partículas confinadas. Ninguém jamais encontrará um glúon livre.

Como todas as partículas coloridas, os glúons, que são partículas mediadoras das interações fortes, nunca são observados isoladamente. Existem apenas coletivamente, formando verdadeiras sacolas dentro das quais estão os quarks. Quando dizemos que dois ou três quarks ficam confinados, fica subentendido que confinamos também os glúons, uma vez que eles são trocados continuamente no interior da sacola.



Fig. 19- Quarks e glúons vivem em sacolas.



Fig. 20- Uma cola especial é capaz de juntar quarks.

Os glúons são partículas de massa zero. Tendo em vista que o mesmo acontece com o fóton, podemos afirmar que, se confirmadas as expectativas de que todos os neutrinos sejam massivos, teremos no Universo 9 partículas sem massa. O gráviton, se confirmado experimentalmente, completaria o quadro de 10 partículas sem massa.

Essas partículas - os glúons - ao serem trocadas pelos quarks, e só por eles, acarretam uma interação, dita forte, entre os quarks. O efeito da interação forte é provocar uma atração entre eles. Não existem forças fortes repulsivas. O mesmo vale para os objetos compostos por essas partículas. Neste último caso, as forças são de curto alcance.

Glúon é uma alusão a cola, em inglês (glue). O que cola os quarks e os mantém unidos, formando um estado ligado, é a constante troca dessas partículas por parte dos quarks. O que está esquematizado nas figuras abaixo vale para qualquer partícula composta:

Ao carregar uma cor, o glúon é capaz de trocar a cor de um quark. O processo de troca de cor ocorre no interior das partículas compostas, conforme ilustrado na figura abaixo:



Fig. 21- Mediante a troca de glúons, trocamos as cores dos quarks no interior das sacolas.

O processo de troca de cor por meio da troca de glúons, no entanto, só pode ser entendido, do ponto de vista da dinâmica, através da teoria dos objetos coloridos (no sentido já descrito), que é a cromodinâmica quântica. O estudo das partículas que têm o atributo cor (A QCD) é equivalente ao estudo das interações fortes.