

Partículas estranhas: as novas leis de conservação

Com o desenvolvimento cada vez maior dos aceleradores, centenas de partículas foram sendo criadas. Verificava-se que muitas delas tinham tempo de vida muito curto, conseqüentemente, decaindo em outras partículas, formando cada vez mais partículas.

Para entender melhor porque algumas partículas tinham o seu decaimento bem determinado, ou seja, decaíam em algumas partículas e não em outras, os físicos tiveram que “criar” novas leis de conservação além das que já eram conhecidas:

- Princípio da conservação de massa (obedecendo a relação massa-energia);
- Princípio da conservação do momento (angular e linear);
- Princípio da conservação da carga elétrica.

Esses três princípios já eram bem claros, pois em nenhum momento deixaram de ser válidos, não sendo violado por nenhuma interação ou decaimento.

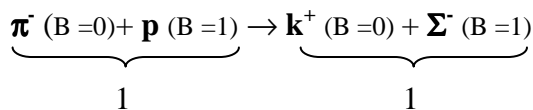
Os novos princípios eram baseados em características de certo grupo de partículas, que tinham nomes específicos.

Número bariônico

O primeiro novo princípio, diz respeito aos *bárions* (partículas formadas por 3 quarks), sendo denominada de *número bariônico* (B). Foi atribuído a todos os bárions o valor +1 e aos antibárions, o valor -1. Todas as outras partículas têm valor nulo.

Para que o número bariônico seja conservado, o seu valor tem que ser igual antes e depois do decaimento (reação).

Exemplo: $\pi^- + p \rightarrow k^+ + \Sigma^-$



Nessa reação o número bariônico é conservado, logo a reação pode ocorrer.

Tomada juntamente com a conservação de energia, a conservação do número bariônica exige que o *bárion* mais leve, o próton, seja estável. Atualmente, isso está sendo discutido se é verdade.

Bárion	nº bariônico (B)
Próton (p)	+1
Neutron (n)	+1
Lambda zero (Λ^0)	+1
Sigma mais (Σ^+)	+1
Sigma zero (Σ^0)	+1
Sigma menos (Σ^-)	+1
Antibárion	nº bariônico (B)
antipróton (p)	-1
antineutron (n)	-1

Número leptônico

A segunda lei de conservação está ligada a partículas parecidas com o elétron que são o *múon* - μ (107 Mev/c²) e o *tau* - τ (1777 Mev/c²). Eles têm as mesmas características do elétron, porém massas bem maiores. Cada partícula dessas, tem um neutrino associado: e - ν_e ; μ - ν_μ ; τ - ν_τ . Essas seis partículas são chamadas, genericamente, de *léptons*.

Aplicado a essas partículas temos o *número leptônico*, que deve ser conservado em todas as reações. Aqui, são atribuídos o valor +1 para o número leptônico (L_e) ao elétron e seu neutrino e, -1 para suas antipartículas. As demais partículas são nulas, incluindo todos os outros léptons.

Lépton	L_e	L_μ	L_τ
elétron (e ⁻)	+1	0	0
neutrino do elétron (ν_e)	+1	0	0
múon (μ^-)	0	+1	0
neutrino do múon (ν_μ)	0	+1	0
tau (τ^-)	0	0	+1
neutrino do tau (ν_τ)	0	0	+1

Essa atribuição de valor é análoga para o número leptônico do múon (L_μ) e do tau (L_τ).

Exemplo: $n \rightarrow p + e^- + \nu_e$

$$\underbrace{n (B=1)}_1 \rightarrow \underbrace{p (B=1) + e^- (B=0) + \nu_e (B=0)}_1$$

$$\underbrace{n (L_e=0)}_0 \rightarrow \underbrace{p (L_e=0) + e^- (L_e=1) + \nu_e (L_e=-1)}_0$$

\Rightarrow Logo, pode ocorrer.

$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e$

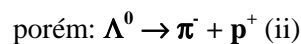
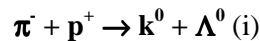
$$\underbrace{\mu^- (L_\mu=1)}_1 \rightarrow \underbrace{e^- (L_\mu=0) + \nu_e (L_\mu=0)}_0$$

$$\underbrace{\mu^- (L_e=0)}_0 \rightarrow \underbrace{e^- (L_e=1) + \nu_e (L_e=1)}_2$$

\Rightarrow Logo, não pode ocorrer

Estranheza

Em algumas reações, pode-se observar o comportamento um tanto estranho de alguns *hádrons* pesados, como na seguinte reação:



Ambas as reações envolvem *hádrons*, por isso devem reagir via força forte, com um tempo de 10^{-23} s. Porém, a partícula k^0 (*káon zero*) e Λ^0 (*lambda zero*) decaem em um tempo relativamente lento (10^{-8} s), característico da interação fraca. Observou-se também que essas partículas pareciam aos pares.

O comportamento antagônico dessas partículas levou Gell-Mann e Kazuhiko Nishijima a proporem, independentemente, uma nova propriedade que só seria conservada nas reações provenientes das interações forte e eletromagnética. Nas reações via interação fraca ela poderia ser violada, como mostra a segunda reação.

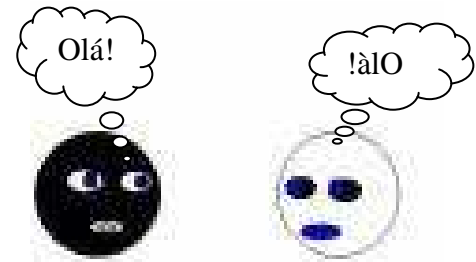
Essa propriedade recebeu o original nome de *estranheza* (S). Foi atribuída estranheza +1 para as partículas k^+ e k^0 e estranheza -1 para partículas Λ^0 , Σ^+ , Σ^- e Σ^0 e **nulo** para os nucleons e o pión.

A estranheza de outras partículas poderia ser calculada através de análise das reações e dos decaimentos que participavam.

Partículas	Estranheza (S)
Próton (p)	0
Neutron (n)	0
Lambda zero (Λ^0)	-1
Sigma mais (Σ^+)	-1
Sigma zero (Σ^0)	-1
Sigma menos (Σ^-)	-1
Pión mais (π^+)	0
Pión menos (π^-)	0
Pión zero (π^0)	0
Káon mais (k^+)	+1
Káon zero (k^0)	+1
Káon menos (k^-)	-1

As antipartículas: a descoberta do pósitron

Imagine você andando na rua, de repente, olha para o outro lado e vê, na outra calçada, uma pessoa que só não é idêntica a você, por um detalhe (uma pinta, um piercing, o cabelo partido ou uma outra característica que está invertida). Acho que você, como todos, ficaria espantado e muito assustado, perguntando como é possível isso acontecer? Mas para nossa tranqüilidade, sabemos que isso é praticamente impossível de ocorrer. Porém, no caso das partículas elementares, não!



A idéia de partículas quase idênticas (opostas somente em uma propriedade) começou a ser formulada em 1928, o inglês Paul Dirac, elaborou uma expressão relativística para a função de onda do elétron. Nessa expressão, a energia do elétron é dada por:

$$E^2 = (m_0c^2)^2 + (pc)^2 \Rightarrow E = \pm\sqrt{(m_0c^2)^2 + (pc)^2}$$

Dirac notou que a equação admitia duas soluções, uma com energia positiva e a outra, “misteriosamente” com energia negativa, que não seria descartada. Porém, ao não descartar essa parte da solução, ele se confrontou com uma questão.

Mas, se há estados de energia negativo, dada à tendência dos sistemas físicos evoluírem para o estado de energia mínima, o elétron deveria ir para estados mais negativos, irradiando infinitamente energia e isso não acontece.

Para solucionar esse problema, Dirac propôs o conceito de “mar de elétron” (este “mar infinito de elétrons” seria uniforme e por isso não produziria efeitos observáveis), postulando que todos os estados negativos de energia já estariam ocupados por elétrons e, devido ao princípio da exclusão de Pauli, os elétrons dos estados positivos não poderiam transitar para os estados negativos já ocupados.

Desta forma, somente seriam observados efeitos, quando um elétron, que ocupa um dos estados negativos, for excitado transitando para um estado positivo, deixando um buraco (ou bolha) no mar, que então, poderia ser observado. Esse buraco se comportaria como uma partícula de carga positiva e energia positiva.

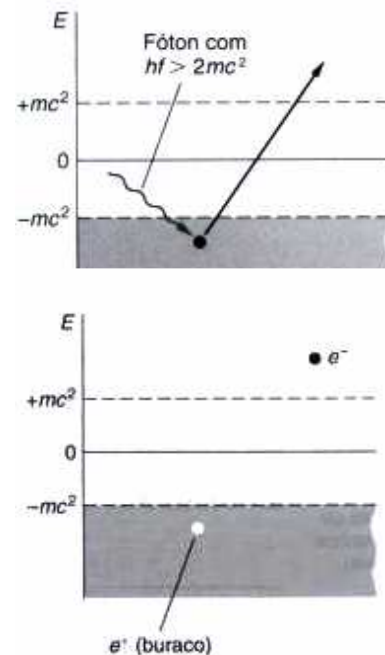
O processo de excitação do elétron do estado negativo, pode ser descrito da seguinte maneira: um fóton (γ) atinge um elétron de energia negativa e promove a um estado de energia positiva, deixando um buraco no mar, com falta de carga negativa. Tornando o buraco uma partícula positiva.

O candidato mais óbvio para ocupar esse lugar seria o próton. No entanto, a equação, previa que essa partícula deveria ter a mesma massa do elétron.

A inexistência de uma partícula com essas características colocava em dúvida toda a teoria proposta por Dirac, que era agravada pela idéia artificial de *mar infinito de elétrons*, que não era bem aceita pela comunidade.

A validade dessa interpretação só veio em 1932, quando o americano Carl David Anderson (1905-1991), descobriu partículas com a mesma massa do elétron, porém de carga positiva, que foi denominada *pósitron* (e^+).

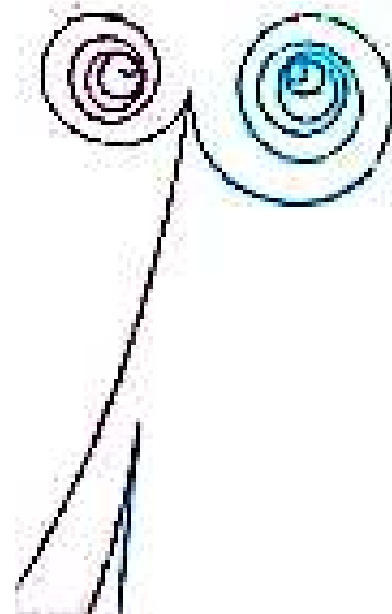
Anderson analisava rastros deixados por partículas em câmaras de nevoeiro no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), quando percebeu o rastro deixado por um par de partículas com massas aparentemente iguais, mas com cargas opostas, identificando como a possível partícula procurada. Sendo confirmada em uma série de experiências posteriores confirmaram a descoberta do pósitron.



Contudo, a idéia de *mar de elétrons* não era muito confortável, sendo abandonada no final da década de 40, com o desenvolvimento da eletrodinâmica quântica (QED) por Richard Feynman (1918-1988) e Stukelberg que propuseram uma interpretação mais simples dos estados de energia negativa. As soluções correspondiam a *antipartículas*, ou seja, para cada partícula existe uma antipartícula com a mesma massa e carga de sinal contrário.

Assim, a nova teoria, previa também *antiprótons* e *antinêutrons*, por exemplo. Essas partículas foram detectadas respectivamente em 1955 e 1956, com a construção de aceleradores de partículas mais potentes.

Desta forma, estava consolidada a idéia de antipartículas e, a produção de antimatéria era só uma questão de tempo. Hoje em dia, a produção de anti-hidrogênio (pósitron + antipróton) é rotineiramente feita para pesquisa em grandes aceleradores.

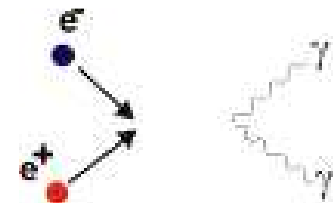


Produção e aniquilação: partícula x antipartícula

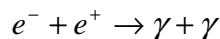
Com a descoberta o pósitron e a nova interpretação dos estados negativos como antipartículas, abriu-se uma outra porta para produção de novas partículas.

Devido a relação entre massa-energia ($E = mc^2$), a produção de um par de partícula-antipartícula só seria possível quando a energia do fóton (γ) for maior ou igual a soma das massas de repouso de ambas partículas, que se quer produzir.

Um fóton de energia E_γ maior do que $1,022 \text{ MeV}$ ($2 \times 0,511 \text{ MeV}/c^2$) pode interagir com um material criando um par elétron-pósitron. A energia excedente se transforma em energia cinética do par elétron-pósitron, que atravessa o material perdendo energia sucessivamente por excitação ou ionizações de átomos.



Quando o pósitron perde toda a sua energia cinética e pára, ele se aniquila com algum elétron, e há a emissão de dois raios gama de $0,511 \text{ MeV}$ cada um. Para haver conservação de quantidade de movimento, os raios gama são emitidos em direções opostas.



Questões:

1) Determine a energia mínima do fóton para que as seguintes reações ocorram:

- $\gamma \rightarrow \Lambda^+ + \pi^-$
- $\gamma \rightarrow p + \bar{p}$
- $\gamma \rightarrow \mu^- + \mu^+$

2) Os antiprótons quase sempre são aniquilados na reação $p + \bar{p} \rightarrow \gamma + \gamma$. Suponha que um próton e um antipróton se aniquilem em repouso. Por que devem ser produzidos dois fótons em vez de apenas um?