

# Os bárions charmosos

**Apesar de difíceis de produzir e complexos do ponto de vista teórico, os bárions charmosos são um excelente teste para os modelos atuais de partículas. Da análise de bilhões de colisões nos aceleradores de partículas, os físicos esperam em breve desvendar novas propriedades desses constituintes da matéria.**

**A física nos surpreende** pela riqueza de detalhes com que pode descrever a matéria. Esse conhecimento, acumulado principalmente no último século, é ainda mais admirável se usarmos como ponto de partida a observação direta dos objetos do nosso dia-a-dia para chegar ao nível profundo de compreensão que se tem hoje sobre o átomo e suas partículas elementares.

Em sua viagem ao interior da matéria – praticamente iniciada no final do século 19, quando o físico inglês Joseph John Thomson (1856-1940) descobriu o elétron –, a física nos levou à compreensão do núcleo atômico, com seus prótons e nêutrons, e, de forma ainda mais surpreendente, à descoberta que estes últimos são formados por constituintes ainda menores, os quarks.

Compreender os detalhes ínfimos da matéria não é só fundamental para entender o mundo diminuto da matéria, mas também para compreender o universo como um todo, desde sua origem até que destino terá, incluindo até mesmo o surgimento de vida nele.

>>>

Para buscar entender a matéria, temos hoje laboratórios gigantes, como o Fermilab (Estados Unidos) e o Cern (Suíça), dedicados inteiramente à compreensão dos processos de interação entre partículas elementares. Nessas máquinas, de proporções gigantescas, partículas carregadas são aceleradas até que atinjam velocidades próximas à da velocidade da luz, ou seja, 300 mil km/s. A colisão entre elas resulta na produção de um número formidável de novas partículas. Esse número depende da energia liberada na interação e nas energias atingidas pelos aceleradores ele pode chegar a algumas centenas de partículas.

**DESCRIÇÃO BONITA E FUNCIONAL.** Uma das mais importantes confirmações feitas em experimentos nos aceleradores de partículas foi a de que prótons e nêutrons são formados por constituintes ainda menores da matéria, os chamados quarks – o nome foi dado pelo físico americano Murray Gell-Mann, que se inspirou em uma passagem (*"Three quarks for Muster Mark!"*) do romance *Finnegan's Wake*, do escritor irlandês James Joyce (1882-1941).

Para formar prótons e nêutrons, os quarks estão grudados uns aos outros por forças fortíssimas mediadas pelos glúons – a palavra tem origem em *glue*, que, em inglês, significa cola. Previstos há décadas pelos físicos teóricos, os quarks eram considerados, na década de 1960, como meras conveniências matemáticas para se estudar sistematicamente as propriedades das partículas. Entretanto, para a surpresa de muitos, as experiências para se verificar a estrutura do próton – através do espalhamento de elétrons em prótons – revelaram que estes últimos realmente possuem constituintes puntiformes.

Um fato experimental importante é que quarks e glúons não são observados livremente na natureza, como, por exemplo, observamos os elétrons. Isso torna muito mais difícil, mesmo que indiretamente, a confirmação da existência dessas partículas.

Outro fato importante tem a ver com a colisão dos chamados hádrons, partículas caracterizadas por um par quark antiquark (os chamados mésons) ou trios de quarks (os bárions), como mostra a figura 1. Quando levados a colidir entre si, os hádrons fazem surgir novos quarks e antiquarks dessa família. Daí, a multiplicidade de novas partículas provenientes de novos arranjos de quarks e glúons após as colisões em aceleradores.

Falamos, então, de quarks *up* (u) e *down* (d) primariamente para descrever prótons e nêutrons e, para completar a descrição das partículas, temos ainda os quarks *charm* (c), *strange* (s), *bottom* (b) e *top* (t), cada qual com massa e características próprias.

É uma descrição bonita e funcional, pois reduz a compreensão de centenas de partículas ao relacionamento intrincado de seis quarks e respectivos antiquarks, mais oito glúons.

**DOTADOS DE CHARM.** Ao longo de décadas, esses laboratórios têm desenvolvido centenas de experimentos para investigar o papel dos quarks. Esses trabalhos envolvem a cooperação de pesquisadores de todo o mundo. Entre esses experimentos, está o de sigla E781 (Selex), com o qual o Grupo de Bárions Charmosos do CBPF colaborou (ver 'Experimento criou 15 bilhões de colisões').

Bárions charmosos são hádrons com três quarks e que contêm ao menos um quark *charm*. São muito menos co-

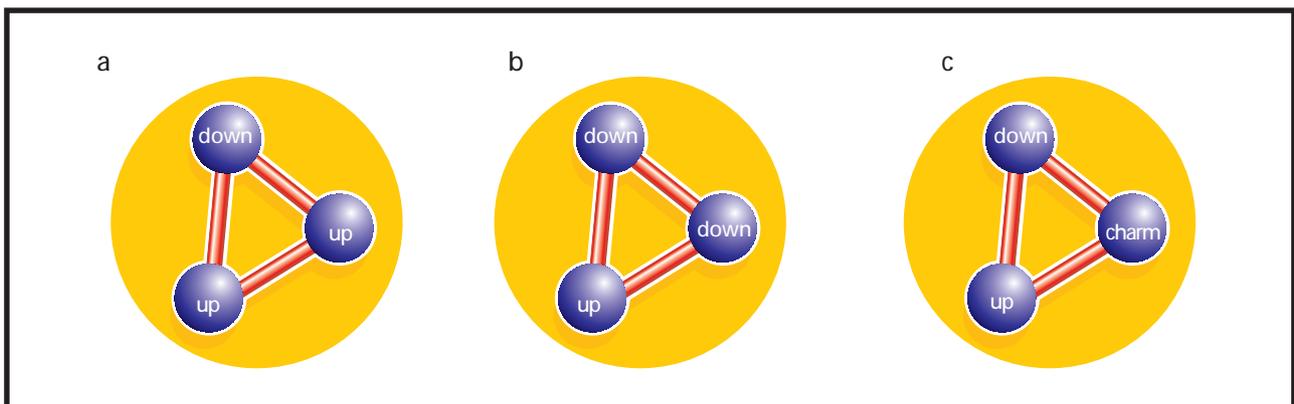


Figura 1. Exemplos de bárions, partículas formadas por três quarks. Em a, representação de um próton (componente do núcleo atômico), que tem carga elétrica +1 e é formado por dois quarks *up* (carga elétrica +2/3) e um quark *down* (-1/3). Em b, um nêutron, outro componente nuclear, que tem carga elétrica nula, sendo formado por dois quarks *down* (-1/3) e um *up* (+2/3). A combinação dos seis quarks existentes pode formar várias outras partículas, como o lambda (item c), constituído por um *up*, um *down* e um quark *charm*, este com carga elétrica +2/3. Partículas formadas por um dupla de quarks são denominadas mésons. Um exemplo são os glúons (aqui representados pelas linhas que unem os quarks), que podem momentaneamente formar um par quark e antiquark.

## EXPERIMENTO CRIOU 15 BILHÕES DE COLISÕES

O experimento E781 foi realizado no Fermilab há quatro anos. Seu objetivo foi estudar, de modo sistemático, os bárions charmosos. Basicamente, o experimento consistiu em efetuar a colisão de prótons contra placas do metal tungstênio. O resultado dos choques é a produção de um feixe de partículas com prótons, méson pi (ou píons), bem como partículas denominadas sigmas.

Os sigmas, por sua vez, colidiram contra placas de cobre e carbono, produzindo, entre outras partículas, um número intenso daquelas contendo o quark *charm* – em particular, as denominadas lambdas charmosos ( $\Lambda_c$ ), que são nosso objeto de estudo.

Na direção em que são produzidas as partículas charmosas, encontra-se um espectrômetro (conjunto de detectores) capaz de identificar as partículas carregadas eletricamente e outras que, mesmo sem carga, podem provocar reação no meio e serem detectadas indiretamente.

O Grupo de Bárions Charmosos do CBPF está analisando os diferentes modos do decai-

mento dos  $\Lambda_c$ , como o decaimento em próton, méson k e méson pi – no jargão da física, denomina-se decaimento o processo pelo qual uma partícula instável dá origem a outras. Para isso, levamos em conta o estado de ‘rotação’ (ou, mais tecnicamente, o spin) das partículas envolvidas no decaimento. Essa análise vai permitir obter informação não somente sobre os diferentes modos de decaimento, mas também sobre a orientação do spin (ou polarização) dos lambdas charmosos produzidos.

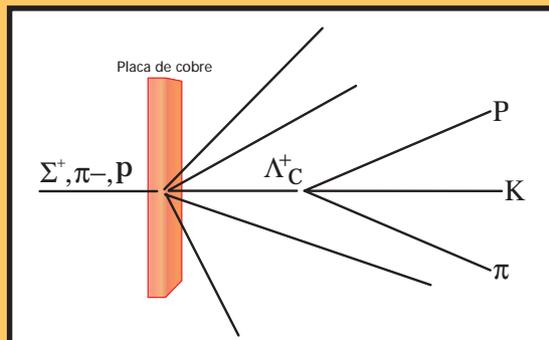


Figura 2. Representação de um possível registro por detectores de um lambda charmoso ( $\Lambda_c$ ) decaindo em próton (p), méson k (k) e méson pi ( $\pi$ ). Para chegar a essa detecção, o experimento E781 colidiu primeiramente prótons contra placas de tungstênio, produzindo novos prótons (p), mésons pi negativos ( $\pi^-$ ) e sigmas positivos ( $\Sigma^+$ ). Estas, por sua vez, colidiram contra placas de cobre, produzindo os lambdas charmosos.

As informações registradas nos detectores, que constituem um banco de dados com milhares de fitas gravadas, é o alvo das análises. Programas especialmente desenvolvidos para esse experimento procuram identificar as diferentes partículas através das intensidades e características dos sinais deixados nos detectores.

Foram produzidas 15,2 bilhões de interações no E781, sendo 1 bilhão selecionados para armazenamento em fita. Na primeira fase da análise dos dados, cerca de 1.400  $\Lambda_c$  foram identificados, esperando-se que na segunda se tenha uma estatística significativa para se obter bons resultados.

Assim, é possível reconstruir as trajetórias das partículas, os pontos em que decaíram, sua energia e sua velocidade (ou momento), entre outras propriedades. A figura 2 ilustra um possível registro pelos detectores do decaimento de uma  $\Lambda_c$ .

Nosso grupo participa da colaboração internacional Selex, do Fermilab (Estados Unidos), que envolve dezenas de instituições em vários países.

nhecidos que os mésons charmosos, por exemplo, compostos por um par quark e antiquark, com pelo menos um deles sendo um *charm*.

Desde 1975 que experiências procuraram investigar os bárions charmosos. Somente quatro anos depois, obteve-se uma prova direta de que essas partículas existem – em particular, a partícula lambda charmoso ( $\Lambda_c$ ) foi detectada em vários experimentos, sendo que sua massa concorda com o que prediz a teoria (ver também nesta edição ‘A física do charm’).

Do ponto de vista experimental, os bárions charmosos são mais difíceis de serem produzidos que os mésons, devido ao fato de serem mais pesados e possuírem estados de rotação (spins) diferentes de zero. Isso, por sua vez, torna o estudo teórico dessas partículas bem mais complexo.

No entanto, estudar os bárions charmosos tem suas recompensas: eles representam um excelente teste para os mo-

delos de partículas com os quais a física trabalha hoje. Assim, em breve, os físicos esperam ampliar seu conhecimento sobre a natureza e as propriedades dos constituintes da matéria que são dotados de *charm*. ■



Edgar Corrêa de Oliveira e Anna Maria Freire Endler