

GRUPO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS CHARME

João dos Anjos
Javier Magnin
Ignácio Bediaga & Hickman
Jussara M de Miranda
Alberto Correa dos Reis

COLABORADORES

Cecília Uribe (doutoranda)
André Massafferri (doutorando)

A física do charm

Espectômetro da experiência E-791

- detector de posição trilhas de silício
- identificação de partículas Cerenkov
- detector de posição câmaras multifilares
- ímãs defletores de partículas carregadas
- detector de energia calorímetro eletromagnético
- detector de energia calorímetro hadrônico
- absorvedor de partículas parede de aço
- detector de múons cintiladores plásticos

Dotado de fenomenologia particularmente rica, o estudo das chamadas partículas charmosas tem sido, além de um laboratório para testar e refinar teorias sobre a interação entre a matéria, um instrumento poderoso para a observação de partículas que, até recentemente, driblavam os mais rigorosos experimentos.

bóson	carga	massa
g	0	0
W ⁺	+1	80,42
W ⁻	-1	80,42
Z	0	91,19
g	0	0

Figura 1. Tabela com os tipos, as cargas elétricas e as massas dos bósons de calibre – as massas estão em GeV (bilhões de elétrons-volt).

CEDIDO PELOS AUTORES

A natureza apresenta uma grande variedade de partículas que formam o mundo à nossa volta. Provavelmente, as mais conhecidas são o elétron (a partícula básica envolvida na eletricidade), o próton e o nêutron (constituintes do núcleo atômico), bem como o méson pi, cuja descoberta desempenhou um papel importante para a fundação do CBPF.

De maneira esquemática, as partículas elementares (ou 'indivisíveis') podem ser classificadas em dois grupos:

1) Bósons de calibre: são partículas envolvidas na transmissão das quatro forças (ou interações, como preferem os físicos) da natureza. São eles, o fóton (responsável pela força eletromagnética), os bósons vetoriais W⁺, W⁻ e Z⁰ (força fraca), os glúons (força forte) e os grávitons (partícula prevista teoricamente, porém ainda não detectada, responsável pela força gravitacional).

Antes de mencionarmos o segundo grupo de partículas elementares, vale aqui uma breve descrição das quatro forças da natureza. São elas: a força gravitacional, que mantém a Terra girando em torno do Sol ou que traz de volta à superfície

um objeto atirado para cima; a força forte, que mantém os núcleos atômicos coesos; a força fraca, envolvida em certos tipos de radiação nuclear; e, finalmente, a força eletromagnética, responsável, por exemplo, pelo atrito entre os corpos.

2) Férmions: são as partículas que formam a matéria ordinária do nosso dia-a-dia. Dividem-se em léptons e quarks, sendo que cada um desses subgrupos apresenta três famílias. Os léptons podem ou não ter carga elétrica (figura 2). Quanto aos quarks, são as fontes da força forte e todos têm carga elétrica fracionária (figura 3). As forças eletromagnética e fraca atuam tanto sobre os léptons quanto os quarks. Quanto à força forte, ela age somente sobre os quarks, que contêm uma propriedade adicional, denominada carga de cor.

SEMPRE CONFINADOS. Os quarks não podem ser observados livres, mas apenas formando partículas com estrutura, como prótons, nêutrons e mésons pi (hoje denominados píons). A propriedade que impede que os quarks sejam observados isoladamente é denominada confinamento das interações fortes.

Partículas compostas por quarks são denominadas genericamente hádrons. Podem ainda ser classificadas em dois grandes grupos: mésons (formados por um quark e um antiquark) e bárions (formados por três quarks) – exemplos destes últimos são os prótons e os nêutrons.

Uma descrição mais detalhada das propriedades das partículas elementares e dos hádrons pode ser encontrada em http://pdg.ift.unesp.br/2000/contents_tables.html

CONE GIGANTESCO. Os experimentos de que o Grupo de Charm do CBPF tem participado foram realizados no acelerador de partículas Tevatron, do Fermilab, centro de pesquisas que fica próximo a Chicago (Estados Unidos). Para a realização desses experimentos, denominados E691, E769, E791

quarks	1ª família	2ª família	3ª família	carga
	u up	c charm	t top	+2/3
	d down	s strange	b bottom	-1/3

Figura 3. Assim como os léptons, os quarks apresentam-se em três famílias. As massas dos quarks variam de 2 keV (mil elétrons-volt) até 170 GeV (bilhões de elétrons-volt), esta última referente ao quark *top*. Na região azul, estão os quarks classificados como pesados.

e E831, foram feitas colaborações entre cerca de 20 instituições de pesquisa de vários países do mundo, incluindo o CBPF. Como resultado desse esforço, foram publicados dezenas de artigos em revistas de prestígio internacional, com resultados importantes na área de física de partículas.

O experimento E791, por exemplo, consistiu na colisão de um feixe de píons contra um material sólido (alvo) situado no início de um detector com cerca de 20 metros de comprimento cuja forma lembra um cone gigantesco (figura da abertura). Esses choques, altamente energéticos, produzem dezenas de partículas, entre elas os chamados hádrons charmosos, que contêm em sua estrutura pelo menos um quark *charm*.

Detectores usados nessas experiências são equipamentos altamente sofisticados (ver também nesta edição 'Quatro andares de ciência e tecnologia' e 'Precisão e sensibilidade'). Essa aparelhagem tem a capacidade de detectar, com extrema precisão, várias propriedades físicas (por exemplo, energia, carga elétrica e quantidade de movimento) de cada uma das partículas que o atravessam.

O grande número de colisões, cerca de 20 bilhões, registradas e gravadas em fita magnética, bem como a boa resolução obtida nesse experimento, estão permitindo que se chegue a medidas refinadas tanto sobre a produção quanto a desintegração das partículas charmosas (ver 'História se completa cinco décadas depois').

léptons	1ª família	2ª família	3ª família	carga
neutrinos	ν_e neutrino do elétron	ν_μ neutrino do múon	ν_τ neutrino do tau	0
léptons com carga elétrica	e elétron	μ múon	τ tau	-1

Figura 2. As três famílias de léptons, partículas que se apresentam com carga elétrica zero e -1 (em comparação com a carga do elétron). As massas variam de 0,51 MeV (massa do elétron) até 1,7 GeV (massa do tau). Os neutrinos foram inicialmente tidos como partículas sem massa, porém sabe-se hoje que eles devem ter uma massa pequena segundo, os últimos resultados de dois importantes experimentos nessa área, *SuperKamiokande* (Japão) e *Sudbury Neutrino Observatory* (Canadá).

TRÊS ETAPAS. O estudo da produção de hádrons pesados é importante por ser um laboratório para testar a teoria que explica como a matéria interage através da força forte – essa teoria leva o nome cromodinâmica quântica.

De um modo geral, espera-se que hádrons contendo quarks pesados – como é o caso dos hádrons charmosos – sejam produzidos em três etapas. Primeiramente, deve ocorrer a destruição das partículas que estão colidindo e a liberação de seus quarks constituintes. Depois, esses quarks devem interagir com um glúon e produzir um par de quarks *charm*. A última etapa tem a ver com o cha-

HISTÓRIA SE COMPLETA CINCO DÉCADAS DEPOIS

As atividades teóricas e experimentais do Grupo de Charm do CBPF têm se concentrado tanto na produção quanto na desintegração de hádrons charmosos. No entanto, nosso grupo dedica-se a outras duas linhas de pesquisa:

- aspectos teóricos ainda mal compreendidos da teoria das forças fortes (área tecnicamente denominada estrutura não perturbativa do mar de hádrons);
- produção de hádrons a partir da energia resultante do processo de aniquilação elétron-pósitron;
- aspectos teóricos da teoria das interações eletrofracas, em particular aqueles relativos à violação da simetria de Carga-Paridade (CP).

Na parte experimental, nosso grupo tem estudado as assimetrias na produção de bárions charmosos do tipo lambda (L_c^+) e (L_c^-) no experimento E791 (ver também nesta edição 'Os bárions charmosos'). Na linha teórica, propusemos recentemente um modelo no qual os quarks que compõem a estrutura das partículas que colidem desempenham um papel fundamental na formação dos há-

drons charmosos.

Em relação à desintegração do charme, nosso grupo tem atuado em pelo menos cinco linhas diferentes. São elas: mistura entre famílias de quarks nas interações fracas; comprovação de propriedades da teoria das forças fracas através de interações mediadas pela partícula Z^0 ; discussão teórica e experimental da desintegração do charme em três partículas; assimetria entre a formação de matéria e antimatéria (ou violação CP).

Porém, um resultado obtido também na linha de desintegração do charme é de particular importância para a física de partículas. Publicado recentemente na prestigiosa *Physical Review Letters* (vol. 86, p. 770, 2001), o artigo relata a comprovação da existência do méson s (sigma), partícula prevista teoricamente no início da década de 1960, mas que, até agora, havia se mostrado fugidia. Com a mesma técnica que levou à observação do méson sigma (500) –



Sentados (esq. para dir.): João dos Anjos, Jussara M. de Miranda e Alberto Correa dos Reis; em pé (esq. para dir.): Javier Magnin, André Massafferri, Ignácio Bediaga & Hickman e Cecília Uribe.

o número indica sua massa em MeV –, foi possível ainda observar outra partícula procurada há anos, o méson k (kappa), bem como aprimorar a compreensão sobre o méson f_0 (980).

Vale ressaltar que as propriedades do méson sigma fazem dele uma partícula complementar ao méson π (pi), que foi descoberto em 1947 com a participação do físico brasileiro Cesar Lattes, fundador e primeiro diretor científico do CBPF. Assim, cinco décadas mais tarde, a história retorna à mesma instituição para, de certo modo, completar um ciclo de descobertas.

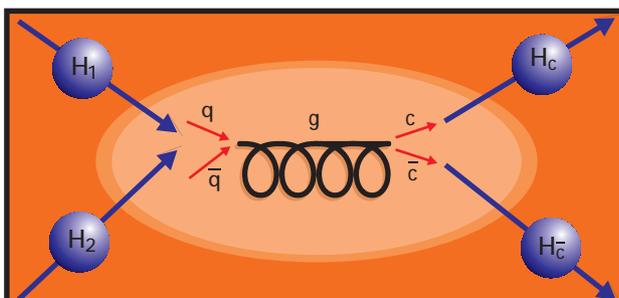


Figura 4. Processo típico de produção de hádrons pesados. No diagrama, os hádrons iniciais (H_1 e H_2) destroem-se na colisão e produzem um par *charm-anticharm* (c e \bar{c}), que posteriormente forma dois hádrons pesados charmosos, um dotado de um quark *charm* (H_c) e outro de um *anticharm* ($H_{\bar{c}}$). A letra g representa um glúon (partícula mediadora da chamada força forte).

mado processo de hadronização, que é o modo como os quarks *charm* se recombinam com os quarks leves liberados na colisão formando os hádrons charmosos (figura 4).

FENOMENOLOGIA RICA. Enquanto o estudo da produção dos hádrons charmosos tem ajudado a aprofundar o conhecimento sobre como a matéria interage através da força forte, a desintegração dessas partículas tem permitido testar de modo rigoroso um dos maiores desenvolvimentos teóricos do século 20: teoria eletrofraca, na qual estão unificadas duas forças fundamentais da natureza, a eletromagnética e a fraca.

Além de ser capaz de realizar testes refinados para os modelos atuais de partículas, a física dos hádrons charmosos tem se mostrado frutífera também na observação experimental de partículas. É essa fenomenologia particularmente rica que faz dessa área uma das mais ativas e promissoras dentro do campo da física de partículas. ■