

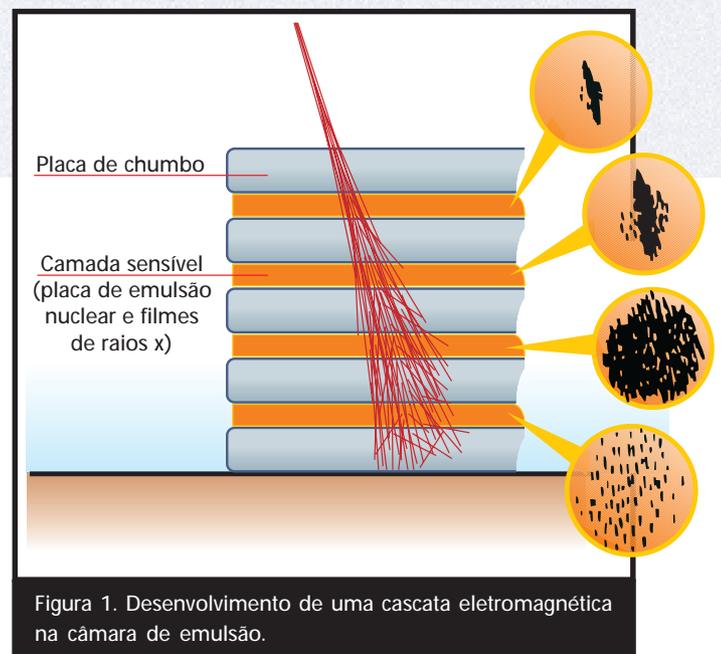
# Laboratório de raios cósmicos

O estudo das interações produzidas pelos raios cósmicos, particularmente pelos de energia extremamente alta, tem servido como uma sonda para investigar o comportamento da matéria e de seus constituintes elementares.

**Descobertos no início do século 20**, os raios cósmicos são partículas que têm sua origem no espaço e que, ao penetrar a atmosfera terrestre, chocam-se contra núcleos atômicos, produzindo uma 'cascata' de partículas secundárias. A energia dessas colisões é, em geral, muitas ordens de grandeza superior às atingidas nos aceleradores de partículas hoje em atividade.

A comprovação experimental de muitas partículas previstas teoricamente deu-se através do estudo dessas colisões. O pósitron (antipartícula do elétron) foi descoberto em 1932 pelo físico norte-americano Carl Anderson (1905-1991), e, no ano seguinte, o físico inglês Patrick Blackett (1897-1974) e o italiano Giuseppe Occhialini (1907-1993) demonstraram experimentalmente o processo no qual um fóton (partícula de luz) se transforma – ou decai, como preferem os físicos – em um pósitron e um elétron. Quatro anos mais tarde, seria a vez do méson (hoje, denominado múon), partícula com propriedades semelhantes às do elétron, porém com massa superior.

Em todas essas descobertas, as emulsões nucleares desempenharam um papel destacado. Porém, uma dessas descobertas



teve – e tem ainda – um significado especial para o Brasil: a do méson pi em 1947, da qual participaram o físico brasileiro Cesar Lattes, bem como Occhialini e o inglês Cecil Powell (1903-1969), este último líder da equipe do Laboratório W. W. Wills, da Universidade de Bristol (Inglaterra). O méson pi (partícula responsável por manter o núcleo atômico coeso) confirmou as previsões teóricas de dois físicos japoneses, Hideki Yukawa (1907-1981), em 1935, e Shoichi Sakata, em 1942.

**MAIS CONTRIBUIÇÕES DO BRASIL.** Mesmo antes de Lattes, o Brasil já tinha tradição de pesquisa nessa área, para a qual contribuiu significativamente. Isso se deu primeiramente com os físicos brasileiros Marcello Damy de Souza Santos e Paulus Aulus Pompéia (1910-1993), liderados pelo italo-russo Gleb Wataghin (1899-1986), cujos experimentos conduziram à importante descoberta dos chamados chuveiros penetrantes em 1940 – essa descoberta está relacionada ao fato de as partículas penetrantes (no caso mésons) não poderem ser produzidas pela materialização de fótons na matéria – como é o caso de elétrons e pósitrons –, mas sim produzidas pelas interações nucleares de raios cósmicos com a mesma.

Quatro anos depois, Wataghin e outro físico brasileiro, Oscar Sala, mostraram que há produção de partículas em colisões de núcleons (prótons e nêutrons) com prótons. O resultado dessa descoberta é que a produção dos secundários não se dá somente em colisões sucessivas do raio cósmico (ou primário, na linguagem técnica) dentro do núcleo (produção plural), como muitos pensavam, mas sim em colisões individuais (produção múltipla). As partículas produzidas eram mésons pi (ou pions), porém eles não sabiam, porque essas partículas só seriam identificadas, como já dissemos, em 1947.

**DISPOSITIVOS NAS MONTANHAS.** As informações experimentais obtidas com raios cósmicos desenvolvem-se lentamente. E há duas razões básicas para isso: de um lado, o fluxo de raios cósmicos que chegam à Terra (ou primários) decresce rapidamente à medida que a energia dessas partículas aumenta, ou seja, quanto mais energético é o raio cósmico mais raro ele é. Aqueles com energias extremamente altas são eventos raríssimos: estima-se que cada quilômetro quadrado da superfície terrestre receba um deles por século! De outro, há o problema instrumental das técnicas de medidas para separar, identificar e medir a energia dos secundários de energia cada vez mais alta.

Juntamente com o desenvolvimento de métodos teóricos (analíticos e numéricos), vários experimentos realizados por grupos experimentais distribuídos por todo o mundo levaram à obtenção de informações confiáveis sobre as interações nucleares produzidas por raios cósmicos com energias até a região do

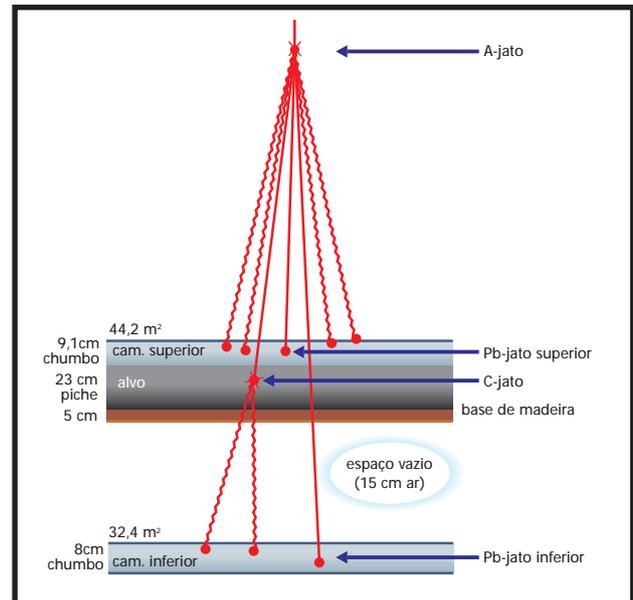


Figura 2. Câmara de dois andares com os três tipos de interações.

$10^{12}$ eV (ou trilhões de elétrons-volt). Acima desse patamar, os dados são obtidos através dos chamados EAS (sigla, em inglês, para chuveiros atmosféricos extensos). EAS nada mais é do que um grupo muito extenso de partículas resultantes de processos de cascatas na atmosfera terrestre (ver também nesta edição 'Energias extremas no universo').

Uma análise dos sucessos e das dificuldades anteriores, bem como a comparação com os resultados usando a técnica do EAS, conduziram à conclusão de que as observações deveriam envolver detectores com uma área sensível muito maior e tempos de exposição também maiores, o que levava inevitavelmente ao uso de dispositivos instalados em montanhas.

**OS CENTAUROS.** A comprovação experimental do méson pi por Lattes a partir das previsões teóricas feitas por Yukawa criou um vínculo de amizade entre a física brasileira e japonesa, na área de raios cósmicos. No entanto, as limitações em altitudes dos laboratórios nas montanhas disponíveis para os

## CÂMARAS DUPLAS USAM PICHE COMO ALVO

Desempenhando o papel de um detector, as câmaras de emulsões são formadas por vários blocos, cada um dos quais é constituído de placas de chumbo (1 cm de espessura), alternadas com envelopes contendo material fotossensível (filmes de raios X justapostos a placas de emulsões nucleares). Os blocos têm dimensões de 40 cm por 50 cm, sendo que a profundi-

dade das câmaras varia de uma para outra. Na figura 1, mostramos o desenvolvimento de uma cascata eletromagnética na câmara de emulsão.

Até a câmara de número 14 instalada pela Colaboração Brasil-Japão, de um total de 24, a geometria adotada era a de câmara simples, projetada para se estudar interações iniciadas acima das câmaras – essas interações levam o nome de

A-jatos. No entanto, com as posteriores, partiu-se para a construção das chamadas câmaras duplas (câmara superior, camada de alvo, espaço vazio e câmara inferior). O objetivo destas últimas é o de estudar interações ocorridas no chumbo e no alvo (piche) – denominadas, respectivamente,  $P_b$ -jatos e C-jatos. A figura 2 detalha esse tipo de câmara.

>>>

## LABORATÓRIO PREPARA TELESCÓPIO PARA MÚONS CÓSMICOS

Fundado no início da década de 1960, o Laboratório de Estudos de Raios Cósmicos é herdeiro de uma das primeiras e mais tradicionais linhas de pesquisa do CBPF.

Ao longo destas últimas quatro décadas, nosso laboratório tem se dedicado tanto à pesquisa experimental quanto ao tratamento teórico dos dados coletados nos experimentos. Em relação à Colaboração Brasil-Japão, estamos desenvolvendo duas linhas de pesquisa. Uma delas diz respeito ao estudo de centauros, chirons, halos, entre outros eventos exóticos envolvendo raios cósmicos – em uma linguagem mais técnica, a principal característica desses eventos é a produção múltipla de hádrons (partículas que interagem através da força forte) sem a emissão concomitante de mésons pi (ou píons) neutros e, por conseguinte, a ausência de fótons.

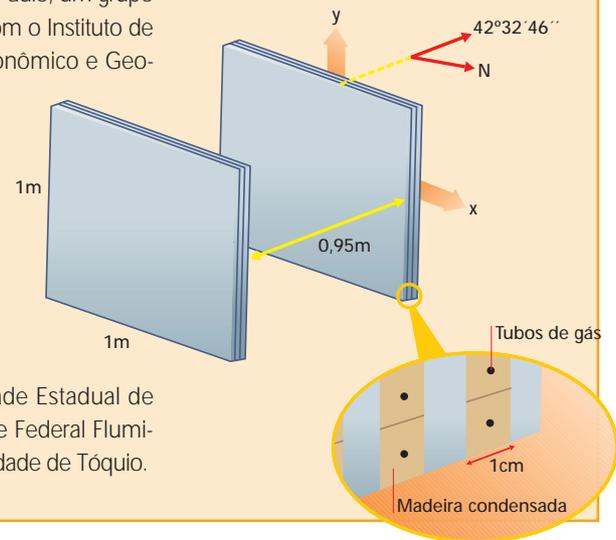
Também estamos neste momento interessados em certas propriedades (mais especificamente, a chamada distribuição angular) do fenômeno que envolve a ‘transformação’ (decaimento) do pión em outras duas partículas, o múon (ou méson mi) e o elétron.

Na parte experimental, estamos finalizando a construção de um telescópio para o estudo de múons cósmicos de baixa energia – a figura 3 traz detalhes desse equipamento. A inspiração para essa linha de pesquisa veio de experimento similar realizado em 1987 pelo Laboratório Nacional de Frascati (Itália), que ganhou o nome Micro (sigla, em inglês, para monitor para jatos intensos de raios cósmicos).

Nossa proposta é fazer experimento similar no hemisfério Sul – mais especificamente, o Micro-Urca será instalado no Rio de Janeiro. Em São Paulo, um grupo do CBPF, juntamente com o Instituto de Física e o Instituto Astronômico e Geofísico, ambos da Universidade de São Paulo, montaram o Micro-Sul, cujos resultados ainda são esperados.

O Laboratório de Estudos de Raios Cósmicos do CBPF mantém colaborações com a Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal Fluminense e com a Universidade de Tóquio.

Figura 3. Detalhe do aparato experimental do detetor Micro para a detecção de múons cósmicos de baixa energia, que está em fase de finalização pelo Laboratório de Estudos de Raios Cósmicos do CBPF. Os múons para serem aceitos pela eletrônica de aquisição do equipamento devem, necessariamente, atravessar os dois setores do detetor, que estão separados, o que vai definir um ângulo de observação, constituindo, dessa forma, um telescópio.



cientistas daquele país levaram um grupo de físicos a pedir a intervenção de Yukawa junto a Lattes. O objetivo era propor uma colaboração envolvendo os estudos de raios cósmicos de altas energias a ser desenvolvido no monte Chacaltaya (5.220 metros de altitude), na Bolívia, local que Lattes já havia usado, ainda em 1947, para expor emulsões nucleares (tipos especiais de chapas fotográficas) e detectar mésons pi.

Nascia, assim, em 1962, a Colaboração Brasil-Japão (CBJ), com o objetivo de estudar as interações de altíssimas energias produzidas pela radiação cósmica e detectadas a partir de equipamentos mais sofisticados expostos naquele monte: as chamadas câmaras de emulsão nuclear (ver ‘Câmaras duplas usam piche como alvo’).

Até hoje, a CBJ expôs 24 câmaras de emulsão, com as quais estudou os principais aspectos relativos à produção múltipla de partículas na região de energia cobrindo o intervalo de  $10^{13}$  a  $10^{17}$  elétrons-volt (ver ‘Laboratório prepara telescópio para múons cósmicos’)

Entre as descobertas mais espetaculares da CBJ, podemos citar os eventos centauro, que até hoje são objeto de pesquisa

em aceleradores. Esses eventos são denominados ‘exóticos’ por alguns pesquisadores, por não se enquadrarem exatamente nos modelos físicos conhecidos, e, se forem confirmados experimentalmente, poderão ser o indício de um novo tipo de interação ainda desconhecida. ■



Da esq. para dir.: Luiz Carlos Santos de Oliveira, Margareth Q. N. Soares e Gabriel Luís Azzi.