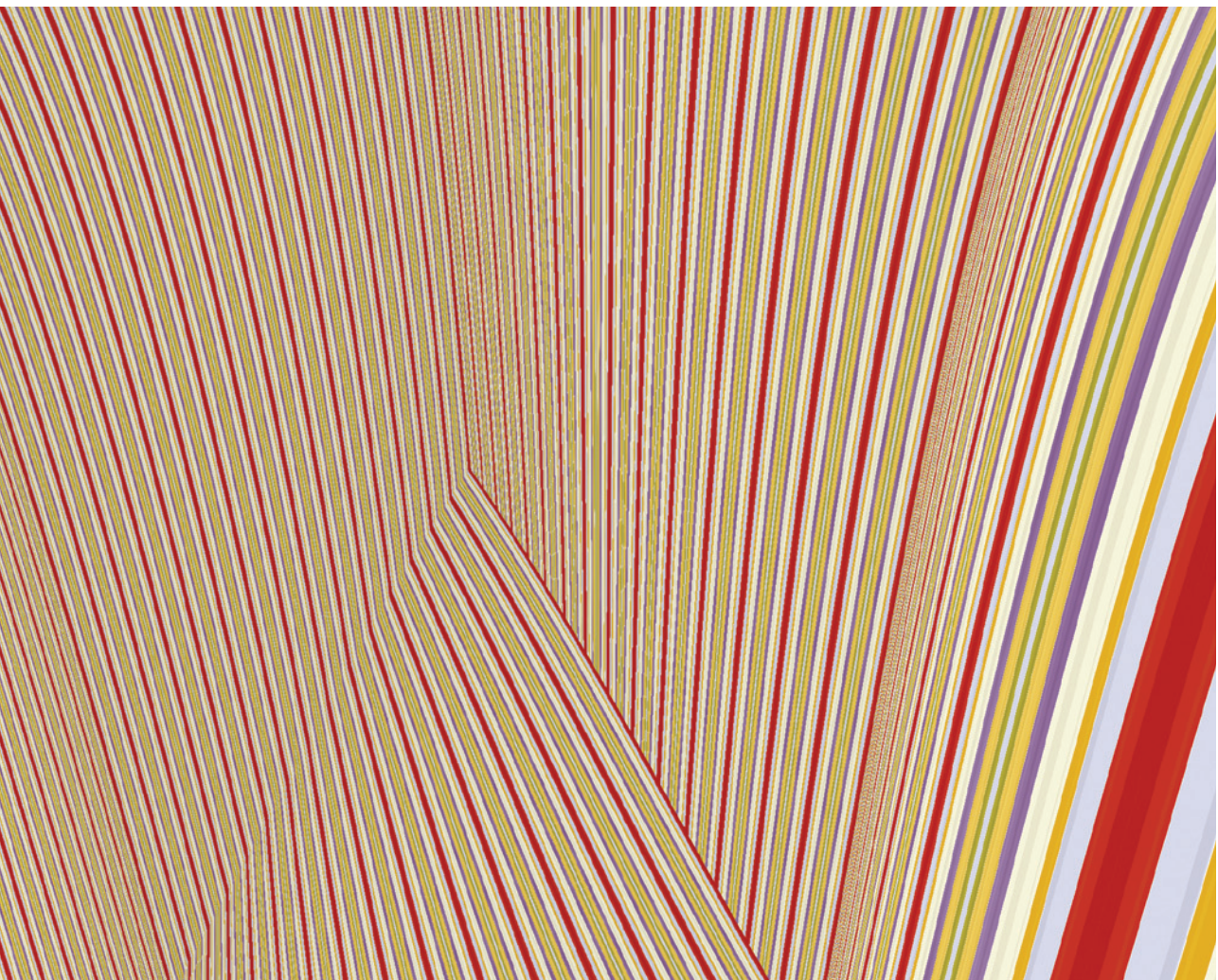
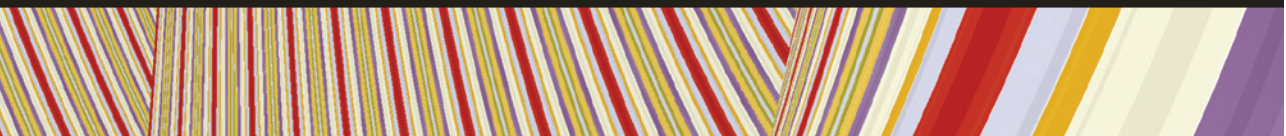




Raios Cósmicos

Energias extremas no universo



Os raios cósmicos são essas estranhas partículas que nos chegam de todos os cantos do universo. Importante para o surgimento da física de partículas elementares – que estuda os constituintes últimos da matéria e que teve um desenvolvimento prodigioso na segunda metade do século passado –, a descoberta do méson pi, da qual participou o físico brasileiro César Lattes (1924-2005), teve também influência decisiva na criação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e no desenvolvimento da física no Brasil.

Nas últimas décadas, aceleradores de partículas cada vez mais poderosos dominaram o panorama da física experimental de partículas. No entanto, novos desafios científicos renovaram recentemente o interesse e a importância do estudo de raios cósmicos, em particular daqueles de energias altíssimas.

A construção de um observatório nos pampas argentinos – ocupando um espaço superior a três vezes a área da cidade do Rio de Janeiro – já possibilitou resolver parte dos enigmas que aqui apresentamos.

- 76. | **INVASORES DE CORPOS** | BOMBARDEIO ESPACIAL
| UM EVEREST A 200 MIL KM/H
- 78. | **ESTILHAÇOS DE MATÉRIA** | DOIS RUMOS | PRÓTONS E NÚCLEOS
| ANTIMATÉRIA E ESTRANHAS
- 79. | **DA TORRE EIFFEL A BALÕES** | UM PADRE E UM BALONISTA
| RAIOS OU CORPÚSCULOS? | CHUVEIRO EXTENSO
- 80. | **OMÉSONPI** | CHUVEIROS PENETRANTES | LATTES EM BRISTOL | NO ACELERADOR
- 82. | **DE ONDE VÊM?** | ESTRELAS MORIBUNDAS | NAS VIZINHANÇAS
- 83. | **QUANTOS CHEGAM?** | PIZZA QUILOMÉTRICA
| UM POUCO DE FÍSICA | SOBEM DEZ, CAEM MIL
- 84. | **OS ZÉVATRONS CHEGARAM** | VOLCANO RANCH
| NO CHÃO E NO AR | RECORDE NO OLHO DE MOSCA
- 86. | **GIGANTE HÍBRIDO DOS PAMPAS** | EM BUSCA DE RESPOSTAS
| CONSÓRCIO INTERNACIONAL | TRÊS VEZES O RIO | MAIS RÁPIDO
QUE A LUZ | CELULAR E GPS | NOITES CLARAS E SEM NUVENS
- 89. | **HIPÓTESES SOBRE A ORIGEM** | RESULTADOS DO AUGER
| LISTA DE CANDIDATOS | MAIS FORTE E ENFRAQUECIDOS
| QUESTÃO EM ABERTO | CONTRIBUIÇÃO BRASILEIRA | RAIOS CÓSMICOS

INVASORES DE CORPOS

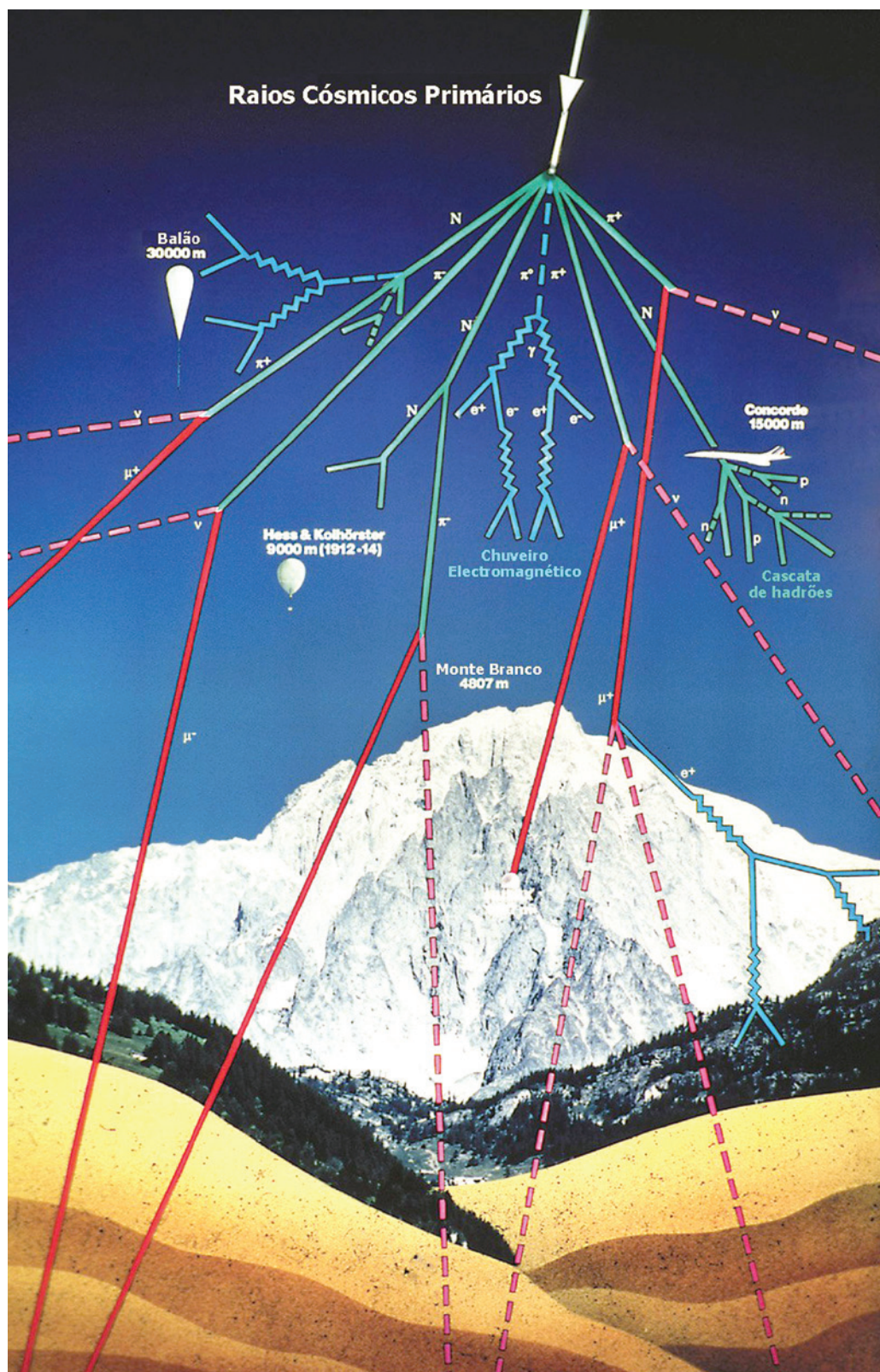
BOMBARDEIO ESPACIAL

Neste exato instante, você está sendo bombardeado. A cada segundo, dezenas de invasores do espaço atravessam seu corpo. Eles são subproduto dos raios cósmicos, partículas extremamente energéticas que, ao penetrarem a atmosfera da Terra, chocam-se contra núcleos atômicos e produzem uma impressionante cascata de partículas e radiação. Essa “chuveirada” pode chegar ao solo contendo centenas de bilhões de partículas.

UM EVEREST A 200 MIL KM/H

A energia de um raio cósmico pode variar em até 100 bilhões de vezes. Há os mais “fracos” e comuns. E aqueles raros e ultra-energéticos. Se um micrograma desse último tipo atingisse a Terra, o choque seria equivalente ao de um asteroide com a massa do monte Everest, o mais alto pico do mundo, viajando a 200 mil km/h. De onde eles vêm? O que lhes imprime tamanha energia? Esses são apenas dois dos mistérios que tornam o estudo dos raios cósmicos uma das áreas mais instigantes da física deste início de século.

Na página seguinte,
concepção artística
de um chuveiro de raios cósmicos



DA TORRE EIFFEL A BALÕES

UM PADRE E UM BALONISTA

Em 1910, o padre jesuíta e físico holandês Theodor Wulf (1868-1946) levou um único detector de radiação (eletroscópio) ao alto da torre Eiffel, a 300m de altura. Notou que a radiação era mais intensa que no solo. Mas não foi além em suas conclusões. Entre 1911 e 1913, o balonista e físico austríaco Victor Hess (1883-1964) se arriscou em dez vôos, levando detectores a quilômetros de altura. Notou, por exemplo, que a 5km de altitude o nível de radiação era 16 vezes maior que no solo. Fez um dos vôos durante um eclipse solar. Os resultados se repetiram. Sua conclusão: a “radiação etérea” vinha do espaço, porém não do Sol. Em 1936, Hess ganhou o Nobel de física pela descoberta dos raios cósmicos, como foram batizados em meados da década de 1920.



DIVULGAÇÃO

RAIOS OU CORPÚSCULOS?

Em 1927, o físico holandês Jacob Clay (1882-1955) concluiu que os raios cósmicos eram partículas com carga elétrica e não radiação muito energética. A prova final a favor dessa conclusão veio com o físico norte-americano Arthur Compton (1892-1962) no início da década de 1930 em experimentos que envolveram dezenas de instituições ao redor do mundo.

CHUVEIRO EXTENSO

Em 1938, o físico francês Pierre Auger (1899-1993) descobriu que o impacto inicial de um raio cósmico contra um núcleo atmosférico gera uma cascata de partículas, que ele captou a partir de detectores no solo dos Alpes. Batizou o fenômeno “chuveiros aéreos extensos”.

O MÉSON PI

CHUVEIROS PENETRANTES

No Brasil, a pesquisa em raios cósmicos se iniciou no Instituto Nacional de Tecnologia, com a chegada em 1933 do físico alemão Bernhard Gross (1905-2002). Em 1939, em São Paulo, o físico ítalo-russo Gleb Wathagin (1899-1986) e os brasileiros Marcello Damy e Paulus Pompéia (1910-1993) detectaram os chamados chuviros penetrantes – mais tarde, descobriu-se que essas partículas com alto poder de penetração na matéria eram múons. Os resultados foram publicados no exterior.

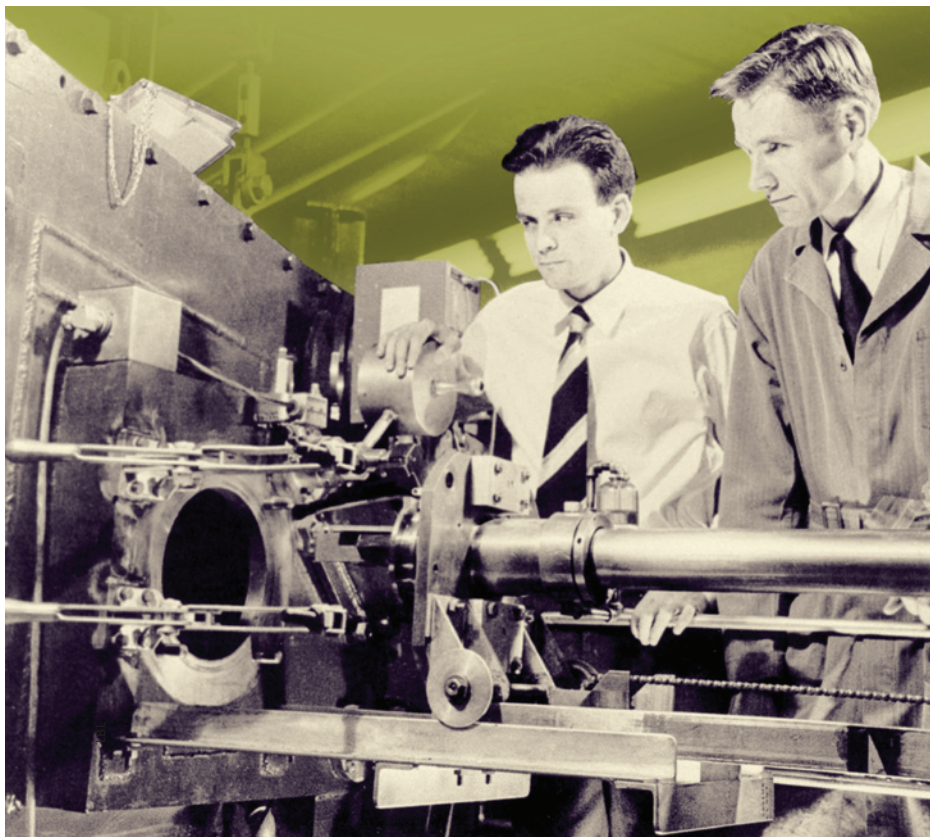
LATTES EM BRISTOL

Porém, foi em 1947 que os raios cósmicos levaram a um dos resultados de maior repercussão internacional nessa área: a detecção do méson pi. Essa partícula – como proposta teoricamente pelo físico japonês Hideki Yukawa (1907-1981) em 1935 responsável por manter o núcleo atômico coeso – foi detectada em emulsões fotográficas expostas nos Pirineus pela equipe liderada pelo inglês Cecil Powell (1903-1969),

Estrada em direção ao laboratório de raios cósmicos no monte Chacaltaya, Bolívia, a 5.200m de altitude

FOTO DE EDISON SHIBUYA/FGW/UNICAMP





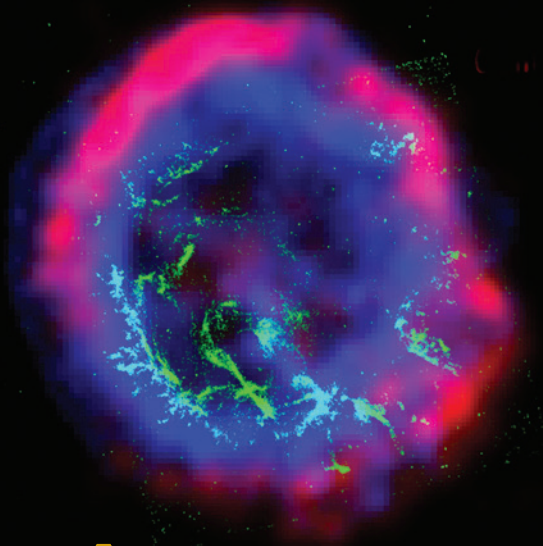
Lattes (esq.) e Gardner

com ampla participação do brasileiro Cesar Lattes, que, em seguida, viajou para a Bolívia para confirmar a existência dessas partículas em experimentos feitos no monte Chacaltaya, a 5,2 km de altitude.

NO ACELERADOR

No ano seguinte, Lattes e o norte-americano Eugene Gardner (1913-1950) detectaram mésons pi nos choques entre partículas que ocorriam no acelerador da Universidade da Califórnia, em Berkeley (Estados Unidos). Essas duas detecções – a natural e a artificial – deram prestígio internacional a Lattes e alavancaram a fundação do CBPF, no Rio de Janeiro, em 1949. Mais tarde, ele estabeleceu um grupo para estudos de raios cósmicos em Chacaltaya, que está em atividade até hoje.

NASA



DE ONDE VÊM?

ESTRELAS MORIBUNDAS

Suspeita-se que, até 10^{16} eV, o mecanismo de aceleração seja a explosão de estrelas no final da vida, fenômeno denominado supernova. Acima desse patamar, o cenário é nebuloso. As hipóteses sobre que fontes imprimem tamanha energia a um núcleo atômico aumentam na mesma proporção em que faltam evidências experimentais.

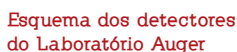
NAS VIZINHANÇAS

Cálculos teóricos indicam que raios cósmicos que chegam à atmosfera terrestre com energia acima de 5×10^{18} eV devem vir “de perto”, não mais do que 150 milhões de anos-luz – cada ano-luz equivale a 9,5 trilhões de km. Parece muito, mas, em termos astronômicos, é mais ou menos como se fosse a vizinhança da Terra. Porém, nesse raio, não se conhece mecanismo no aglomerado local de galáxias – ao qual pertence a Via Láctea – capaz de imprimir tanta energia a um próton ou um núcleo atômico mais pesado.

PIZZA QUILOMÉTRICA

UM POUCO DE FÍSICA

de vezes menor que um grão de areia. Para se ter uma idéia, um próton com energia 10^{20} eV atinge 99,99999999999999999999% da velocidade da luz.



SOBEM DEZ, CAEM MIL

Para cada fator dez de aumento na energia, há uma diminuição de mil no fluxo de raios cósmicos que atinge a Terra. Ou seja: quanto mais energéticos, mais raros. Os menos energéticos (até 10^9 eV) chegam numa proporção de 10 mil por m^2 a cada segundo. Para os de energia por volta de 10^{16} eV, essa quantidade cai para algo em torno de dez. Quando se chega a 10^{19} eV, detecta-se, em média, um para cada km^2 por ano.

John Linsley
checando se há
cobras em seus
detectores em
Volcano Ranch,
no Novo México

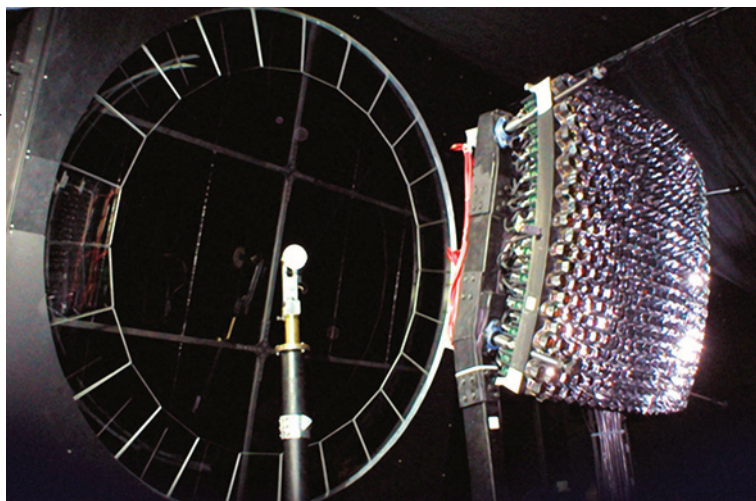
FOTO: ACERVO JOHN LINSLEY

OS ZÉVATRONS CHEGARAM

VOLCANO RANCH

Manhã de 7 agosto de 1962. Volcano Ranch, fazenda perto de Albuquerque, no Novo México (Estados Unidos). Vinte detectores, espalhados por $40km^2$, recebem o impacto de uma chuva de centenas de bilhões de partículas. O primeiro raio cósmico ultra-energético da história havia sido capturado pela equipe do físico norte-americano John Linsley (1925-2002). Valor energético estimado do zévatron: $0,14 \times 10^{21}$ eV.

COLABORAÇÃO PIERRE AUGER



Olho de mosca do telescópio de fluorescência do Laboratório Auger

NO CHÃO E NO AR

O petardo cósmico capturado por Linsley incentivou a comunidade a saber mais sobre partículas com tamanha energia. Nos anos seguintes, surgiram vários experimentos para detectar raios cósmicos. Alguns, como Agasa (Japão), Haverah Park (Reino Unido) e Yakutsk (Sibéria), também usavam detectores terrestres. Outros, a partir da década de 1980, buscavam captar uma luz fluorescente (ultravioleta) que resulta da interação das partículas do chuveiro com os átomos da atmosfera, principalmente os de nitrogênio.

RECORDE NO OLHO DE MOSCA

Em 1991, o recorde de Volcano Ranch seria batido por um zévatron capturado pelo Fly's Eye – Olho de Mosca, pois a geometria dos detectores de fluorescência lembram o olho de um inseto. O experimento, em Utah (Estados Unidos), capturou um zévatron de $0,32 \times 10^{21}$ eV. Essa é mais ou menos a energia de um tijolo atirado com a mão contra um muro com toda força. Vale lembrar que o “objeto” que carregava essa energia era bilhões de vezes menor que um mero milímetro.



EM BUSCA DE RESPOSTAS

No caso dos raios cósmicos ultra-energéticos, a ciência parece ficção. E as dúvidas imperam, o que faz dessa área de pesquisa uma das mais instigantes da atualidade. Porém, em breve, por meio do Observatório Pierre Auger, a ciência poderá ter respostas definitivas para as duas principais perguntas sobre os zévatrons: “de onde eles vêm?” e “como são acelerados?”

CONSÓRCIO INTERNACIONAL

O Observatório Pierre Auger – homenagem ao descobridor dos chuviscos aéreos extensos – foi proposto, no início da década de 1990, pelo físico norte-americano James Cronin, Nobel de Física de 1980, e por seu colega escocês Alan Watson. O Brasil aderiu ao projeto em 1995, ano da formação do consórcio internacional. Hoje, participam 17 países, setenta instituições – oito delas no Brasil – e cerca de 350 pesquisadores – entre eles, cerca de vinte brasileiros.

TRÊS VEZES O RIO

A Argentina foi escolhida como local de instalação no hemisfério Sul. Lá, nas planícies, a 400km ao sul da cidade de Mendoza, nos pampas argentinos, no oeste do país, o Observatório Auger ocupa uma área de 3 mil km² – algo como três vezes o município do Rio de Janeiro. Nessa vasta planície, estão distribuídos 1,6 mil detectores. Está prevista a construção de estrutura, três vezes maior, no Colorado (Estados Unidos), o que permitirá uma cobertura de todo o céu.

MAIS RÁPIDO QUE A LUZ

Cada detector é formado por um tanque plástico com 1,5m de altura, diâmetro de quase 3,5m, contendo 12t de água esterilizada, para evitar o crescimento de bactérias que poderiam turvá-la. Dentro de cada um deles, três fotomultiplicadoras captam e amplificam a tênue luz emitida por partículas do chuveiro que penetram o tanque viajando com velocidade superior à da luz na água. Esse é o chamado efeito Cerenkov.

COLABORAÇÃO PIERRE AUGER

Sede do Laboratório Auger



CELULAR E GPS

Todos os tanques estão ligados por sistema semelhante ao de telefonia celular. A energia vem de baterias especiais, alimentadas por painéis solares. A posição e o momento exatos da chegada do chuveiro aéreo são dados pelo Sistema de Posicionamento Global – mais conhecido como GPS. Com essas tecnologias, é possível medir o ângulo de entrada do chuveiro em relação ao solo com precisão de um grau e seu tempo de duração em bilionésimos de segundo.

NOITES CLARAS E SEM NUVENS

O Auger também emprega quatro telescópios “olhos de mosca” – daí ser chamado observatório híbrido –, instalados na periferia da rede. Cada “olho” é formado por um espelho esférico – com diâmetro de 3,7m – que converge para 440 fotomultiplicadoras a fluorescência gerada pela passagem do chuveiro. Esse equipamento – capaz de detectar a luz de uma lâmpada de 4 watts a cerca de 15km de distância – só funciona em noites claras e sem nuvens.

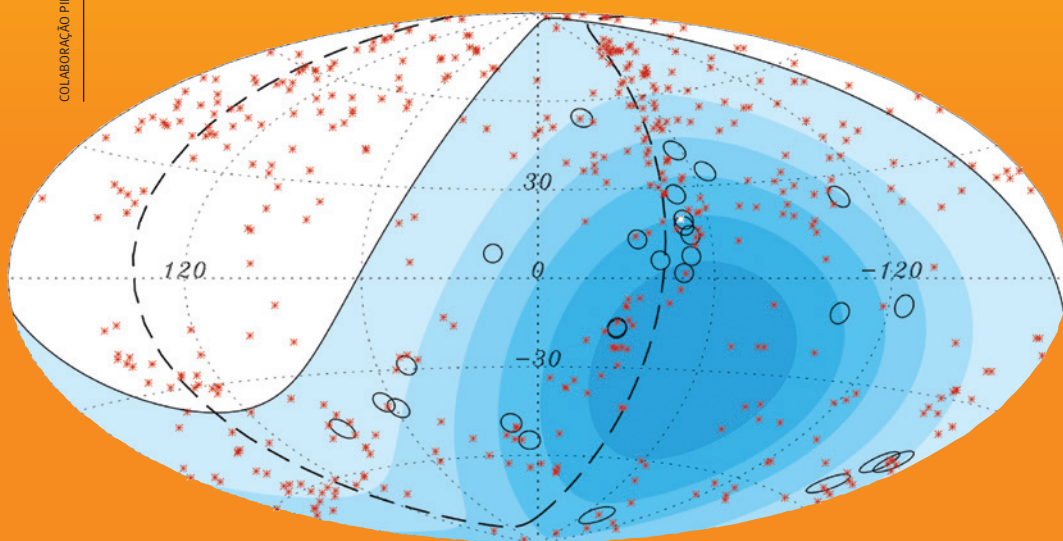
COLABORAÇÃO PIERRE AUGER



HIPÓTESES SOBRE A ORIGEM

RESULTADOS DO AUGER

Dados sobre os 27 zévatrons mais energéticos detectados pelo Observatório Pierre Auger até outubro de 2007 mostram que há uma forte associação entre a direção no céu de onde eles vêm e corpos celestes denominados núcleos ativos de galáxias (AGNs). Os dados relevantes no mapa celeste abaixo são: os zévatrons estão representados por pequenos círculos pretos, e os asteriscos vermelhos são as posições dos 472 AGNs que se encontram nas “proximidades” de nossa galáxia. Com o observatório Auger no Colorado, a cobertura do céu será completa, e o futuro mapa celeste não conterà as áreas brancas.



LISTA DE CANDIDATOS

Ao longo das últimas décadas, várias hipóteses se candidataram para explicar a origem dos zévatrons. Elas estão listadas abaixo, e muitas saem enfraquecidas com os resultados recentes do Auger, largamente divulgados na mídia mundial.

i) Núcleos ativos de galáxias – Geralmente, esses corpos celestes escondem em seu interior um buraco negro supermaciço, que suga matéria de estrelas destruídas pela gravitação intensa em sua vizinhança, produzindo radiação e jatos de matéria que se estendem por centenas de milhares de anos-luz;

ii) Explosões de raios gama – São os eventos mais luminosos do universo e provavelmente causados pelo nascimento de buracos negros nos núcleos de estrelas de grande massa ou pelo “agrupamento” de estrelas de nêutrons binárias ou de buracos negros;

iii) Objetos da Via Láctea – Como o nome diz, são objetos em nossa galáxia, como estrelas de nêutrons jovens, pulsares ou até mesmo o buraco negro que, tudo indica, habita o centro da Via Láctea;

iv) Defeitos topológicos – Algo que pode ser comparado a um diminuto volume de “espaço” que não “explodiu” no início do universo;

v) Partículas superpesadas – Formadas pela ainda enigmática matéria escura, responsável por quase um quarto da composição atual do universo, essas partículas se transformariam (decairiam, no jargão dos físicos) em zévatrons.

MAIS FORTE E ENFRAQUECIDOS

O item (i) surge como o candidato mais forte para explicar a origem dos zévatrons, dando uma provável resposta para uma questão que começou há quase um século, quando os raios cósmicos foram descobertos. O item (iii) fica muito desfavorecido, pois é muito improvável que os zévatrons sejam produzidos em nossa galáxia. Os defeitos topológicos (iv) ainda estão no páreo, mas terão que mostrar que se distribuem no céu de forma semelhante à dos AGNs (ou seja, não homogeneamente). De certa forma, o mesmo vale para as partículas superpesadas (v). Quanto ao item (ii), continua uma possibilidade interessante, pois as fontes prováveis dessas explosões se distribuem de forma parecida às dos AGNs.

QUESTÃO EM ABERTO

Se os dados do Auger continuarem mostrando a forte associação entre os AGNs e os zévatrons, os físicos terão, então, muito trabalho pela frente, pois fica em aberto a seguinte questão: que mecanismo físico nesses corpos cósmicos seria capaz de imprimir energias tão altas a núcleos atômicos?

CONTRIBUIÇÃO BRASILEIRA

O Brasil participou ativamente da construção e da tomada de dados do Laboratório Auger. Entre principais contribuições para a montagem, estão: i) a fabricação dos tanques de resina para os detectores de superfície; ii) o fornecimento das baterias especiais para os painéis solares; iii) o projeto de mecânica fina para os telescópios de fluorescência; iv) a fabricação das lentes especiais que permitem a focalização precisa da imagem dos telescópios; v) importantes contribuições na análise dos dados. Ao todo, cerca de vinte pesquisadores brasileiros, além de estudantes de doutorado e engenheiros.

RAIOS CÓSMICOS • Energias

1911-1912. Descoberta da existência de uma radiação penetrante, com origem fora da Terra, pelo físico austríaco **Victor Hess** em vôo de balão

1924. Nasce Cesar Lattes, em Curitiba (PR), no dia 11 de julho.

1928. Os físicos alemães H. Geiger e W. Muller desenvolvem o chamado contador Geiger, que registra a passagem de partículas ionizantes

1932. Descoberta do pósitron, a antipartícula do elétron, por C. Anderson e, independentemente, por P. Blackett e Giuseppe Occhialini

1933. O físico alemão Bernhard Gross chega ao Rio de Janeiro; pouco tempo depois, ingressa no Instituto Nacional de Tecnologia

1934. O físico ítalo-russo Gleb Wataghin assume a sua cátedra de física na USP

1935. O físico japonês Hideki Yukawa propõe a existência de uma partícula (o atual méson pi) responsável pela coesão do núcleo atômico

1937. Descoberta do múon por S. Neddermeyer e C. Anderson

1938. **Pierre Auger** prova que os raios cósmicos, ao se chocarem com moléculas da atmosfera, causam o surgimento de chuvenhos aéreos extensos de partículas



(a)

1940. Descoberta dos chuvenhos de partículas penetrantes por Wataghin, Marcelo Damy de Sousa Santos e Paulus Aulus Pompéia

1941. Realização no Rio de Janeiro do Simpósio sobre Raios Cósmicos; o físico norte-americano Arthur H. Compton participou deste encontro e de missão científica no interior do Estado de São Paulo

1943. Lattes concluiu seu bacharelado em Física pela USP

1946. Lattes, recomendado por Occhialini, parte para Bristol para trabalhar no laboratório de Cecil Powell

1947. Descoberta do méson pi por Powell, Lattes e Occhialini



(d)



(d)

extremas no universo

1948. Produção artificial do méson pi por Lattes e Eugene Gardner

1949. Fundação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Lattes é o seu primeiro diretor científico. Além disso, assume a cátedra de Física Nuclear na antiga Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil (atual UFRJ)

1955. Lattes deixa a direção do CBPF e vai para a Universidade de Chicago

1957. Lattes atua na Universidade de Minnesota; no seu retorno ao Brasil, passa a trabalhar na USP, a convite de Mário Schenberg e Marcelo Damy de Sousa Santos

1962. Início da colaboração Brasil-Japão para o estudo de Raios Cósmicos no monte Chacaltaya

1963-1971. Lattes anuncia em diferentes conferências internacionais a observação de eventos relacionados às bolas-de-fogo, resultantes da interação de raios cósmicos com núcleos da atmosfera

1967. Lattes transfere-se para a UNICAMP, onde organiza um laboratório de Raios Cósmicos

Década de 1970.
A colaboração Brasil-Japão descobre a existência de eventos exóticos denominados Centauros

1979-1980.
Lattes envolve-se em polêmica pública por discordar de um dos postulados da Teoria da Relatividade Restrita de Einstein: a velocidade da luz não seria constante

1986.

Lattes aposenta-se na UNICAMP; colabora com a Universidade Federal do Mato Grosso

1994.

Lattes (acima à esquerda), ao lado de José Leite Lopes, é homenageado no CBPF por ocasião dos seus 70 anos

2000. Início da construção do Observatório Pierre Auger para o estudo de raios cósmicos milhares de vezes mais energéticos que o mais potente acelerador em uso

2005.

Comemoração do Ano Internacional da Física. A descoberta de Lattes se destaca como um dos mais importantes feitos da ciência brasileira

2007.

Primeiros resultados do Observatório Pierre Auger, publicados na revista *Science*



(e)



(f)

