

# Energias extremas no universo

A existência de raios cósmicos de altas energias é um dos problemas mais intrigantes na astrofísica e na física das partículas atuais. Há décadas que a solução dos paradoxos apresentados por essas partículas com energias macroscópicas desafia a criatividade e engenhosidade dos físicos.



Um dos primeiros tanques instalados pelo Observatório Auger para a realização de testes. Ao fundo, vêem-se as cordilheiras dos Andes. A cor dos tanques foi escolhida para não agredir o ecossistema local.

CECIDO PELO AUTOR

**Raios cósmicos** altamente energéticos não deveriam existir. Mas o fato é que existem. Além disso, suas fontes deveriam ser facilmente identificáveis, pois, com tamanha energia que carregam, essas partículas praticamente viajam em linha reta de sua origem até nós, insensíveis à ação de qualquer campo magnético ao longo do percurso, mesmo que essas distâncias tenham sido cosmológicas.

Porém, nunca se determinou nenhuma relação entre galáxias próximas e raios cósmicos com energias acima de  $10^{20}$  elétrons-volt (unidade de energia usada em física de partículas). Para se ter uma idéia, essa quantidade de energia é a mesma carregada por uma bola de tênis sacada pelo nosso campeão Guga. Vale lembrar, porém, que os raios cósmicos – nome que permaneceu por razões históricas – são partículas subatômicas, cujas dimensões são desprezíveis em comparação com qualquer objeto macroscópico (ver também nesta edição 'Laboratório de raios cósmicos').

Também não se conhece nenhum mecanismo físico que possa explicar como acelerar partículas a essas energias. Os mais potentes aceleradores construídos até hoje geram partículas cem milhões de vezes menos energéticas.

**UM A CADA SÉCULO.** A energia dos raios cósmicos pode variar muito. Quanto maior a energia, mais raros são. Seu fluxo, isto é, a quantidade deles que cai em uma área decresce por um fator mil para cada aumento de dez no fator energia. Por exemplo, um sensor de  $1\text{m}^2$  ao nível do mar mede, a cada segundo, mais de 100 raios cósmicos – grande parte dos raios cósmicos que atingem a Terra tem sua origem na galáxia em que vivemos, fruto de eventos cataclísmicos como a explosão de supernovas (ver nesta edição 'Brilho intenso no céu').

Já o fluxo dos raios cósmicos com a energia mais alta já observada é de um deles por quilômetro quadrado a cada século! Logicamente, os cientistas têm pressa em encontrar respostas para suas indagações e, claro, não se conformariam em esperar séculos para colher alguns poucos raios de extrema energia. Uma solução para o problema está em montar uma grande área de sensores para capturá-los – tema que iremos tratar mais adiante neste artigo.

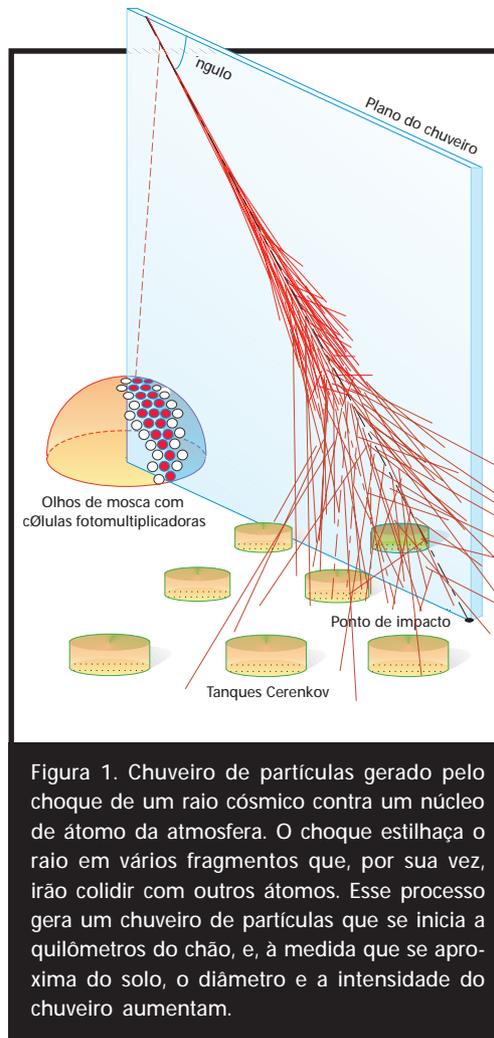


Figura 1. Chuveiro de partículas gerado pelo choque de um raio cósmico contra um núcleo de átomo da atmosfera. O choque estilhaça o raio em vários fragmentos que, por sua vez, irão colidir com outros átomos. Esse processo gera um chuveiro de partículas que se inicia a quilômetros do chão, e, à medida que se aproxima do solo, o diâmetro e a intensidade do chuveiro aumentam.

**PANQUECA DE PARTÍCULAS.** O recorde de energia de um raio cósmico medido na Terra é de 320 bilhões de bilhões de elétrons-volt, isto é, o número 320 seguido de 18 zeros. Para representar essa quantidade de energia, usa-se o tão incomum prefixo zeta (Z), que significa o número 1 seguido de 21 zeros. O recorde fica, então, em 0,32 ZeV, ou 50 joules, a energia de uma bola no saque de Guga, concentrada numa partícula microscópica.

Ao entrar na atmosfera terrestre, o raio cósmico colide com o núcleo de uma das moléculas do ar a dezenas de quilômetros de altura acima do solo, quebrando-o em inúmeros fragmentos (figura 1). Esses estilhaços, por sua vez, carregam também muita energia e colidem com outros átomos, em um processo no qual o número de partículas cresce rapidamente, abrindo-se em uma 'panqueca' de partículas que viajam praticamente à velocidade da luz.

Na verdade, a panqueca parece mais com a capa de um guarda-chuva invertido, figura denominada, no jargão dos especialistas, 'chuveiro aéreo extenso'. No ponto onde o número de partículas atinge um máximo – a densidade de partículas está concentrada no centro do chuveiro e cai de forma gradativa em direção à periferia –, a quantidade delas pode chegar a centenas de bilhões. Depois desse máximo, que é muito característico e está associado à energia e à natureza original do raio cósmico, o chuveiro começa a se dissipar, mas continua expandindo suas dimensões.

**LÂMPADA NA ATMOSFERA.** Em sua cascata aérea, os chuveiros extensos arrancam elétrons dos átomos da atmosfera – no jargão técnico, diz-se que esse átomos são ionizados –, fenômeno que ocorre principalmente com os átomos de nitrogênio. O resultado dessa ionização é a emissão de luz ultravioleta, que, na área central do chuveiro, é suficientemente intensa para ser observada a grandes distâncias.

A intensidade dessa luz, porém, é equivalente à de uma lâmpada com poucos watts de potência atravessando a atmosfera à velocidade da luz, aumentando e depois diminuindo seu brilho. Esse efeito da fluorescência dos átomos de >>>



Figura 2. Pesquisadores trabalhando na montagem de um dos tanques Cerenkov feitos no Brasil. No detalhe, o hexágono mostra a área ocupada pelo Observatório Auger, na província de Mendoza (Argentina)

nitrogênio não pode ser visto a olho nu, mas apenas por telescópios especiais.

Ao chegar à Terra, o chuveiro pode cobrir uma área com diâmetro de alguns quilômetros, sendo que, nessa fase, é formado por elétrons e sua antipartícula (pósitrons), raios gama (ondas eletromagnéticas muito energéticas), múons ('parentes' do elétron), além de poucos prótons e nêutrons.

**CONSÓRCIO INTERNACIONAL.** O desafio oferecido para a compreensão da origem e a natureza de raios cósmicos com energias extremas motivou um grupo de cientistas a formar um consórcio internacional e a construir um laboratório para observá-los. Em outubro deste ano, completa-se a primeira etapa da construção do Observatório Pierre Auger, na província de Mendoza (Argentina). Dentro

## TANQUES OPERAM COM TELEFONIA CELULAR

Visto de cima, o conjunto de tanques do Observatório Auger formará uma gigantesca grade triangular, com separação de 1,5 km entre os tanques (figura 2). Cada tanque é um cilindro com área de 10 m<sup>2</sup> e uma parede lateral da altura de 1,5 m. São hermeticamente fechados e cheios de água filtrada por um processo sofisticado para evitar o crescimento de microrganismos.

Suas paredes interiores serão revestidas por plástico branco que ajuda a difundir a luz, gerada pela passagem de partículas carregadas, o chamado 'efeito Cerenkov' – o efeito ocorre quando uma partícula viaja com velocidade superior à da luz no meio

em questão. A intensidade luminosa, registrada pelas células fotomultiplicadoras no interior dos tanques, é proporcional à energia das partículas que a geraram.

Quando chega ao chão, um chuveiro cósmico ativa vários tanques. A intensidade de energia do chuveiro e a medida precisa do instante de chegada das partículas que atingem cada tanque permitem determinar a posição do núcleo, bem como definir a direção de onde veio o chuveiro.

Cada tanque tem um receptor GPS (*Global Positioning System*), sistema de posicionamento baseado em satélites, que faz a vez de um relógio muito preciso. O sistema GPS tem precisão na casa

dos bilionésimos de segundo, escala de tempo necessária para a execução de uma instrução em um microcomputador de última geração.

Os tanques têm um sistema de comunicações semelhante ao dos telefones celulares, operando na frequência de 915 MHz, que funciona como gatilho para o registro da chegada de um chuveiro grande.

O sistema eletrônico de um tanque é alimentado por um conjunto de baterias e painéis solares. Como os tanques estarão espalhados numa região semidesértica, a alimentação por energia elétrica convencional torna-se praticamente inviável.

de dois anos, começará a construção de outro complexo de detectores no estado de Utah (Estados Unidos) para cobrir o céu do hemisfério Norte.

O Observatório Auger – o nome é uma homenagem ao físico francês Pierre Victor Auger, um dos pioneiros no estudo de raios cósmicos – utilizará duas técnicas complementares para apurar tanto a energia quanto a origem e a composição dos raios cósmicos. A primeira delas está baseada na construção de tanques de água (figura 2) espalhados por uma área equivalente a quase três vezes à do município do Rio de Janeiro (ver 'Tanques operam com telefonia celular').

A segunda são telescópios especiais, cuja função é captar a fluorescência causada pela passagem dos raios cósmicos pela atmosfera (figura 3). A área coberta pelos tanques terá três deles, e um quarto telescópio ocupa o centro da rede de tanques.

Cada telescópio funciona como um olho de mosca, formando um conjunto de milhares de pequenos olhos que focalizam, cada um, um pequeno cone no céu. Esses diminutos olhos são fotomultiplicadoras, sensores de luz extremamente precisos, rápidos e capazes de acompanhar, por exemplo, o movimento do núcleo de um chuveiro cósmico através da atmosfera.

**OLHOS EM NOITES LÍMPIDAS.** Ao todo, haverá 13,2 mil olhos supervisionando os 3 mil km<sup>2</sup> do Observatório Auger. Devido a essa sensibilidade, os telescópios só poderão ser usados em noites límpidas, sem a luz da Lua. Enquanto os tanques

## PROJETO REÚNE CERCA DE 20 PAÍSES

O CBPF colabora com a Universidade Estadual de Campinas no projeto do Observatório Auger. Dele participam também instituições de mais 18 países. Nossa equipe é responsável pela supervisão e instalação dos tanques na fase inicial do observatório, bem como pela supervisão da organização do *software* para o processamento e análise dos dados do experimento, além de ter contribuído com a preparação do *software* de aquisição e análise dos dados.

O CBPF tem servido de apoio aos cientistas de outras instituições, como Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal da Bahia, PUC do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Espírito Santo e Universidade Federal de Juiz de Fora, que também participam do projeto.

coletam dados 24 horas por dia, o detector de fluorescência atua em apenas 10% do tempo.

Porém, a informação coletada por esses telescópios acompanha todo o desenvolvimento do chuveiro ao longo de sua trajetória descendente, em contraste com os tanques que tiram um tipo de 'fotografia instantânea' do chuveiro no momento que atinge o chão.

Assim que entrar em operação, o Observatório Auger se transformará na mais poderosa janela de observação de raios cósmicos (ver 'Projeto reúne cerca de 20 países'). Será um passo importante para desvendar um dos mais instigantes mistérios da física moderna: os mecanismos capazes de imprimir tamanha energia a partículas e como elas se propagam no espaço. ■

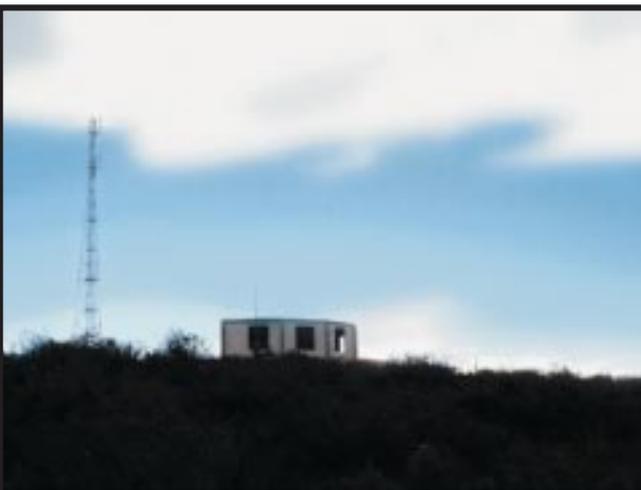


Figura 3. Instalações do telescópio 'olho de mosca', que vai captar a fluorescência causada pela passagem dos raios cósmicos pela atmosfera. Três deles ficam em volta da área coberta pelos tanques, e um quarto telescópio ocupa o centro da rede de tanques.



Ronald Cintra Shellard