A comemoração dos 80 anos de Cesar Lattes em 11 de julho de 2004 nos dá um bom motivo para relembrar a descoberta do méson pi, um dos mais importantes feitos de um cientista brasileiro, e falar das novidades que acontecem na área de raios cósmicos, 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, graças ao prestígio adquirido por Lattes, teve também influência decisiva na criação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) e no desenvolvimento da própria 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 e com importante participação brasileira e do CBPF – possibilitará, quem sabe, resolver os enigmas que aqui apresentamos.

Com este folder, damos prosseguimento às atividades de divulgação científica realizadas pelo CBPF. Esta série destina-se ao público não especializado, que encontrará aqui uma iniciação aos raios cósmicos e também referências para leituras mais aprofundadas sobre essa área fascinante e atual. Mais uma vez, esperamos que esta iniciativa sirva para despertar vocações, mostrando a jovens estudantes um dos campos mais instigantes da física deste novo século.

*João dos Anjos*
**DIRETOR DO CBPF**


PRESIDENTE DA REPÚBLICA
Luiz Inácio Lula da Silva

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Eduardo Campos

SUBSECRETÁRIO DE COORDENAÇÃO DE UNIDADES DE PESQUISA
Avílio Antônio Franco

DIRETOR DO CBPF
João dos Anjos

EDITORES CIENTÍFICOS
João dos Anjos
Ronald Cintra Shellard

REDAÇÃO E EDIÇÃO
Cássio Leite Vieira

PROJETO GRÁFICO, DIAGRAMAÇÃO, INFOGRÁFICOS E TRATAMENTO DE IMAGEM
Ampersand Comunicação Gráfica
(www.amperdesign.com.br)

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150
22290-180 – Rio de Janeiro – RJ
Tel: (21) 2141-7100
Fax: (21) 2141-7400
Internet: http://www.cbpf.br

* Para receber gratuitamente pelo correio um exemplar deste folder, publicado em 2004, envie pedido com seu nome e endereço para iva@cbpf.br. Este e outros três folders (*12 Desafios da Física para o Século 21*, *Nanociência e Nanotecnologia – Modelando o futuro átomo por átomo* e *Sistemas Complexos – A fronteira entre a ordem e o caos*), bem como a revista *CBPF – Na Vanguarda da Pesquisa*, estão disponíveis para *download* (em formato .PDF) em http://www.cbpf.br/Publicacoes/

**Agradecimentos aos seguintes entrevistados (em ordem alfabética):**
Adriano Natale (IFT/Unesp), Carlos Ourívio Escobar (Unicamp) e George Matsas (IFT/Unesp)


CBPF

Ministério da Ciência e Tecnologia

BRASIL UM PAÍS DE TODOS GOVERNO FEDERAL

# Raios Cósmicos

## Energias extremas no universo

CBPF
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

## Sumário


**INVASORES DE CORPOS**
- Bombardeio espacial
- Um Everest a 200 mil km/h

**ESTILHAÇOS DE MATÉRIA**
- Dois rumos
- Prótons e núcleos
- Antimatéria e estranhas

**DA TORRE EIFFEL A BALÕES**
- Um padre e um balonista
- Raios ou corpúsculos?
- Chuveiro extenso

**O MÉSON PI**
- Chuveiros penetrantes
- Lattes em Bristol
- No acelerador

**DE ONDE VÊM?**
- Estrelas moribundas
- Nas vizinhanças

**QUANTOS CHEGAM?**
- Pizza quilométrica
- Um pouco de física
- Sobem dez, caem mil

**AS HIPÓTESES**
- Impulsão e decaimento
- Magnestars
- Choques de galáxias
- Buracos negros
- Explosões de raios gama
- Partículas exóticas
- Defeitos topológicos

**OS ZÉVATRONS CHEGARAM**
- Volcano Ranch
- No chão e no ar
- Recorde no olho de mosca

**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
- Quantos serão capturados?

**NO BRASIL E NO CBPF**
- Detectores e análise

**NOVA FÍSICA?**
- 100 milhões de vezes
- Além do modelo padrão?


Raios Cósmicos
Energias extremas no **universo**

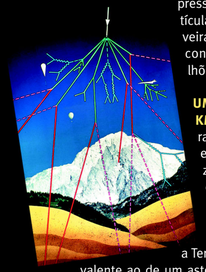
## Fontes


A. A. WATSON. 'Ultra High Energy Cosmic Rays: The present position and the need for mass composition measurements'. In: arXiv:astro-ph/0312475 v1 (18/12/03)
A. D. ERLYKIN e A. W. WOLFENDALE. 'The origin of cosmic rays'. In: *European Journal of Physics*, vol. 20, pp. 409-418, 1999
AUGER OBSERVATORY (www.auger.org)
C. O. ESCOBAR e R. C. SHELLARD. 'Energias extremas no universo'. In: *Ciência Hoje* nº 151, julho de 1999
C. L. VIEIRA e A. A. P. VIDEIRA. '50 anos da descoberta do méson pi – um relato jornalístico'. In: *série Ciência e Memória* (ON, 1997)
C. LATTES. 'Modéstia, ciência e sabedoria' (Entrevista concedida a Fernando de Souza Barros, Micheline Nussenzveig e Cássio Leite Vieira). In: *Ciência Hoje* nº 112, pp. 10-22, 1995
COMCIÊNCIA. 'Raios cósmicos', nº 42, maio de 2003 (www.comciencia.br).
F. CLOSE, M. MARTEN e CHRISTINE SUTTON. *The Particle Explosion* (Oxford University Press, Oxford, 1987)
G. BEISER e A. BEISER. *The Story of Cosmic Rays* (Phoenix House, London,1962)
G. SIGL. 'Ultrahigh-Energy Cosmic Rays: Physics and Astrophysics at Extreme Energies'. In: *Science* vol. 291, 05/01/2001, pp. 73-79
H. MUIR. 'A fast rain's going to fall'. In: *New Scientist*, 07/12/1996, pp. 38-42
I. SEMENIUK. 'Ultrahigh Energy Cosmic Rays – Astronomy's Phantom Foul Balls'. In: *Sky & Telescope*, março 2003, pp. 32-40
J. A. OTAOLA e J. F. VALDEZ-GALICIA. *Los Rayos Cósmicos: mensajeros de las estrellas*. (Fondo de Cultura Económica, México D. F., 1992)
J. CRONIN. 'O enigma das micropartículas com macroenergia'. (Entrevista a R. C. Shellard e C. L Vieira). In: *Ciência Hoje* nº 124, 1996
J. LINSLEY. Série de entrevistas concedidas por correio eletrônico a Cássio Leite Vieira entre 16 de e 30 de abril de 1998
R. OPHER. 'Introduction to the Third Workshop on New Space Physics from Space'. In: www.astro.iag.usp.br/~novafis/introduction.html
R. C. SHELLARD 'Energias extremas no universo'. In: *CBPF – Na vanguarda da pesquisa*. C. L. Vieira (ed.) (Rio de Janeiro, CBPF, 2001).
R. C. SHELLARD. 'Cosmic Accelerators and Terrestrial Detectors'. In: *Brazilian Journal of Physics* vol. 31, nº 2, junho 2001, pp. 247-254


SUGESTÕES PARA LEITURA PODEM SER ENCONTRADAS EM http://www.cbpf.br/complexos

## 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 asteróide 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.

THE PARTICLE EXPLOSION/WWW.UFF.BR

## Estilhaços de matéria

**DOIS RUMOS** • A partir da década de 1930, o estudo dos raios cósmicos tomou dois rumos distintos: a) descobrir o que eram e a origem dessas partículas; b) usar as altas energias que elas carregam para estilhaçar e descobrir a constituição básica da matéria.

**PRÓTONS E NÚCLEOS** • A resposta para a natureza dos raios cósmicos só veio no final da década de 1940, quando emulsões fotográficas levadas a grandes altitudes por balões não tripulados permitiram revelar sua composição. Eram basicamente núcleos atômicos, como os de hidrogênio (prótons) e outros mais pesados. Quanto à origem, ainda hoje permanecem dúvidas.

**ANTIMATÉRIA E ESTRANHAS** • A segunda linha permitiu, quase de imediato, a descoberta de novas partículas. A primeira delas foi o pósitron (a antimatéria do elétron) em 1932. Pouco depois, a vez do múon (um 'primo mais pesado' do elétron). No final da década de 1940, os choques de raios cósmicos contra a matéria revelaram as partículas estranhas, assim denominadas por 'viverem' muito mais tempo que outras partículas instáveis.

## 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 300 m 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 5 km 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.

**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 através de detectores no solo dos Alpes. Batizou o fenômeno 'chuveiros aéreos extensos'.

## O Méson Pi

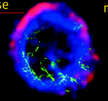
**CHUVEIROS PENETRANTES** • No Brasil, a pesquisa em raios cósmicos se iniciou no Instituto Nacional de Tecnologia, com a chegada em 1933 do físico alemão Bernhard Gross (1905-2002). Em 1939, em São Paulo, o físico ítalo-russo Gleb Wathagin (1899-1986) e os brasileiros Marcello Damy e Paulus Pompéia (1910-1993) detectaram os chamados chuveiros 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 – responsável pela força que mantém o núcleo atômico coeso e proposta teoricamente pelo físico japonês Hideki Yukawa (1907-1981) em 1935 – foi detectada em emulsões fotográficas expostas nos Pirineus pela equipe liderada pelo inglês Cecil Powell (1903-1969), 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.

## 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 que faltam evidências experimentais.



**NAS VIZINHANÇAS** • Cálculos teóricos indicam que raios cósmicos que chegam à atmosfera terrestre com energia acima de $5 \times 10^{18}$ 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 mais pesado.

NASA

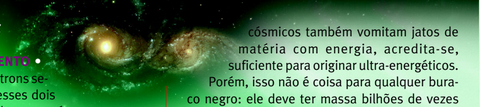
## Quantos chegam?

**PIZZA QUILOMÉTRICA** • O chuveiro aéreo de partículas pode ter dezenas ou centenas de km² de área e conter centenas de bilhões de partículas. Essa 'pizza' viaja praticamente à velocidade da luz (cerca de 300 mil km/s) em direção ao solo, trazendo consigo mésons pi, radiação gama, elétrons, pósitrons, múons e neutrinos – estes últimos podem atravessar a Terra sem praticamente interagir com um único fragmento de matéria. São eles e os múons – também muito penetrantes – que chegam em maior número ao chão.

**UM POUCO DE FÍSICA** • Os físicos usam a unidade elétron-volt (eV) para medir a energia das partículas subatômicas. Comparado com as energias a que estamos acostumados no cotidiano, o eV é insignificante. Um próton 'parado' tem a energia de $10^9$ eV (ou 1.000.000.000 eV). É mais ou menos nessa ordem de grandeza que começam as energias dos raios cósmicos. Os ultra-energéticos, porém, chegam a ter energias macroscópicas, do dia-a-dia. Nada mal para algo que é bilhões 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 m² 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 km² por ano. Os chamados zévatrons ($10^{21}$ eV) são raríssimos: menos que um por km² por século.

## As hipóteses



NASA

**IMPULSÃO E DECAIMENTO** • Acredita-se que os zévatrons sejam gerados por um desses dois mecanismos: a) forças eletromagnéticas intensas; b) decaimento de partículas exóticas. No primeiro caso, núcleos seriam impulsionados por campos eletromagnéticos, o que pode levar milhões de anos até que se forme um zévatron. No segundo, ocorre o oposto: partículas impensavelmente pesadas, relíquias do *Big Bang*, se transformariam (ou decairiam) em constituintes da matéria com energia equivalente aos dos zévatrons. Alguns exemplos desses dois mecanismos:

**MAGNESTARS** Estrelas de nêutrons (partículas nucleares sem carga elétrica) girando rapidamente (cerca de mil rotações por segundo) gerariam campos magnéticos milhões de vezes mais intensos que o terrestre.

**CHOQUES DE GALÁXIAS** Sim, galáxias podem se chocar. E essa trombada colossal poderia gerar zévatrons. E isso logo ali, a 20 milhões de anos-luz da Terra.

**BURACOS NEGROS** O mais bizarro dos corpos celestes não só suga matéria e luz. Esses ralos cósmicos também vomitam jatos de matéria com energia, acredita-se, suficiente para originar ultra-energéticos. Porém, isso não é coisa para qualquer buraco negro: ele deve ter massa bilhões de vezes superior à do Sol.

**EXPLOSÕES DE RAIOS GAMA** São os eventos mais energéticos do universo. Geram, em segundos, energia equivalente à massa do Sol. Assim, supõe-se que possam acelerar prótons e outros núcleos até o patamar de zévatrons.

**PARTÍCULAS EXÓTICAS** São previstas no papel, mas nunca foram detectadas. Ao decaírem, segundo os teóricos, poderiam gerar zévatrons. Nessa ala, há vários candidatos, alguns com nomes, no mínimo, estranhos, como críptons, vórtons e wimpzillas.

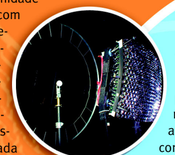
**DEFEITOS TOPOLÓGICOS** O universo pode ter surgido com pequenos 'defeitos de fabricação', ou seja, diminutos volumes do espaço-tempo – um misto inseparável de altura, largura, comprimento e tempo – que se 'esqueceram' de explodir com o *Big Bang* e armazenariam quantidades incríveis de energia. Nos chamados defeitos topológicos poderia estar a origem de partículas com estonteantes $10^{25}$ eV de energia.

## 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 40 km², recebem o impacto de uma chuveirada 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.

**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), Havenah Park (Reino Unidos) 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.



## No Brasil e no CBPF

**DETECTORES E ANÁLISE** O CBPF foi responsável pela coordenação da etapa conhecida como rede de engenharia – ou seja, a implantação dos 40 primeiros detectores –, bem como pela coordenação das tarefas ligadas ao processamento e à análise de dados. A Universidade Estadual de Campinas desenvolveu um equipamento que permite aos telescópios 'olhos de mosca' captar duas vezes mais luz dos rastros de fluorescência na atmosfera. O Brasil ainda produziu as janelas dos telescópios, os tanques e as baterias.

WWW.AUGER.ORG

## Gigante híbrido dos pampas

**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, através 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 chuveiros 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 15 países, 55 instituições – oito delas no Brasil – e cerca de 250 pesquisadores – entre eles, cerca de 30 brasileiros.

**TRÊS VEZES O RIO** • A Argentina foi escolhida como local de instalação no hemisfério Sul. Lá, nas planícies próximas à cidade de Mendoza, nos pampas argentinos, no oeste do país, o Observatório Auger ocupará, ao final de sua construção, uma área de 3 mil km² – algo como três vezes o município do Rio de Janeiro. Nessa vasta planície, estarão distribuídos 1,6 mil detectores. Hoje, 400 deles já estão funcionando. Todos estarão instalados até o final de 2005. Prevê-se a construção de estrutura semelhante em Utah (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 1,5 m de altura, diâmetro de quase 3,5 metros, contendo 12 toneladas 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 penetra o tanque viajando com velocidade superior à da luz na água. Esse é o chamado efeito Cerenkov.

**CELULAR E GPS** • Todos os tanques estarão ligados por sistema semelhante ao de telefonia celular. A energia virá de baterias especiais, alimentadas por painéis solares. A posição e o momento exatos da chegada do chuveiro aéreo serão dados pelo Sistema de Posicionamento Global – mais conhecido como GPS. Com essas tecnologias, será 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 empregará 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 3,7 m – que converge para 440 fotomultiplicadoras a fluorescência gerada pela passagem do chuveiro. Esse equipamento – capaz de detectar uma lâmpada de quatro watts a cerca de 15 km de distância – só funciona em noites claras e sem nuvens.

**QUANTOS SERÃO CAPTURADOS?** • Desde Volcano Ranch, o número de raios cósmicos acima de $10^{20}$ eV detectados não chega a uma dezena. Do ponto de vista da estatística, não é muito animador, pois, com essa quantia, não se pode determinar a direção de origem deles no céu. Com o Auger, prevê-se a captura de aproximadamente 50 zévatrons por ano. E isso ao longo dos próximos 20 anos, tempo para o qual o observatório foi planejado. Com apenas 300 detectores em funcionamento, já foram detectadas dezenas de raios cósmicos de $10^{19}$ eV.

## Nova física?

**100 MILHÕES DE VEZES** • Em 2006, o Observatório Pierre Auger já deve estar funcionando com plena capacidade. Para se ter uma idéia dos níveis de energia com os quais esse experimento vai lidar, vale dizer que o acelerador de partículas mais potente do planeta, o LHC (sigla, em inglês, para Grande Colisor de Hádrons), que está sendo construído no Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (Suíça), conseguirá atingir, com o choque de partículas, energias cerca de 100 milhões de vezes menores que as dos zévatrons.

**ALÉM DO MODELO PADRÃO?** • Espera-se que, com a quantidade de zévatrons capturados por ano pelo Auger, seja possível desvendar as fontes desses raios cósmicos ultra-energéticos. Porém, há a chance de que sejam detectadas partículas de energia assombrosa, que nem mesmo se encaixam no modelo usado pelos físicos para estudar o microuniverso atômico. Se for esse o caso, estará emergindo uma nova física. Sem dúvida, um dos mistérios mais instigantes da natureza. Vale esperar pelas respostas, até porque você, de certo modo, é parte do experimento: a cada segundo, lembre-se, dezenas de invasores cósmicos estão atravessando seu corpo.