



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
Amperсанд 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)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



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

- Vulcano 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?

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 Nussenzweig 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. O'PHER. '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>

Raios Cósmicos
Energias extremas no universo

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.

Estilhaços de 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.



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’



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.



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 chuviscos penetrantes – mais tarde, descobriu-se que essas partículas com alto poder de penetração na matéria eram múons. Os resultados foram publicados no exterior.

De onde vêm?

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.

NAS VIZINHANÇAS • Cálculos teóricos indicam que raios cósmicos que chegam à atmosfera terrestre com energia acima de 5×10^{10} 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.

IMPULSÃO E DECAIMENTO •

dois grandes, por um desses dois mecanismos: a) forças eletromagnéticas intensas; b) decaimento de partículas exóticas. No primeiro caso, núcleos seriam impulsados 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 dois 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

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 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.

NO CHÃO E NO AR • O petardo cósmico capturado por Linsley incentivou a comunidade a saber mais sobre partículas com

► **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 Modelo Padrão, mas nunca foram detectadas. Ao decaimento, segundo os teóricos, poderiam gerar partículas exóticas, como os áxions e os grávitons. Nessa ala, há vários candidatos, alguns com nomes, no mínimo, estranhos, como os áxions, grávitons 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 incalculáveis de energia. Nos chamados defeitos topológicos poderia estar a origem de partículas com estonteantes 10^{25} eV de energia.

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 chuvinhos 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.

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 chuvaíro aéreo serão dados pelo Sistema de Posicionamento Global – mais conhecido como GPS. Com essas tecnologias, será possível medir o ângulo de entrada do chuvaíro 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 quantidade, 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.

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.

