

COLABORAÇÃO ENVOLVE SETE INSTITUIÇÕES

O projeto do Detector de Prótons Espalhados a Pequenos Ângulos (FPD) conta com a colaboração do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, sediado em Campinas (SP), onde os sistemas mecânicos e de vácuo foram construídos.

Além de físicos e engenheiros do CBPF, esse projeto envolve a participação de pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Campinas e do Instituto de Física Teórica (Universidade Estadual Paulista).

Os detectores são construídos de fibras ópticas e requerem a construção de estruturas de plástico que atendessem às exigências de precisão do projeto. O projeto do FPD utiliza mecânica de precisão, técnicas de ultravácuo, eletrônica de controle, software de simulação e controle, bem como a capacidade de gerenciamento de um projeto científico de grande porte.

A descoberta de novas partículas e o detalhamento das propriedades das já conhecidas são a etapa final dos experimentos em física de partículas. Porém, antes de se chegar a esses resultados, é preciso juntar ciência e tecnologia de fronteira para construir os próprios aceleradores, bem como detectores que devem captar mais e mais detalhes das colisões.

O objetivo final é buscar nos menores constituintes da matéria o caminho para revelar os segredos da maior estrutura conhecida: o universo. ■



Sentados (esq. para dir.): Hélio da Motta e Alberto Santoro; em pé (esq. para dir.): Gilvan Alves e Francisco Caruso.

GRUPO DE COSMOLOGIA E GRAVITAÇÃO:

Mário Novello
Ívano Damiano Soares
José Martins Salim
Luiz Alberto Oliveira
Nelson Pinto Neto
Bartolomeu Figueiredo

COLABORADORES:

Herman Julio Mosquera Cuesta (pesquisador visitante)
Sandra Liliana Sautu (pesquisadora visitante)
Santiago Esteban Perez Bergliaffa (pesquisador visitante)
Eduardo Sergio Santini (pós-doutorando)
Alexandre da Fonseca Velasco (pós-doutorando)
Martin Makler (doutorando)
Paulo Israel Trajtenberg (doutorando)
Ronaldo Penna Neves (doutorando)

NASA EDUCATION SERVICE

**Estariamos prestes a presen-
ciar uma autêntica revolução
paradigmática na cosmologia,
com a substituição da atual
cosmovisão por uma mais am-
pla e aperfeiçoada? A resposta
a esta pergunta pode vir já na
próxima década, com inau-
guração de novos detectores
e telescópios.**

Uma nova cosmovisão

O objetivo maior da ciência é o de gerar uma representação racional do mundo. Essa atividade ganha dimensão máxima quando essa representação se propõe a englobar a totalidade do que existe, isto é, o universo considerado como uma estrutura única e solidária.

O ramo da ciência que se propõe a analisar essa estrutura única é a cosmologia, que se desenvolve através da aplicação do conhecimento global das leis físicas ao universo como um todo. Portanto, essa área do conhecimento é, na prática, o maior teste de coerência dessas leis.

Em particular, a cosmologia assume o caráter de um grande e único laboratório capaz de testar efetivamente fenômenos do microcosmos na área de altas energias que estão longe de poderem ser testados em laboratórios terrestres, pois temperaturas extremamente elevadas, inatingíveis no atual estado de desenvolvimento científico e tecnológico, poderiam ser alcançadas nos primeiros instantes do universo. Desse modo, o microcosmo, representado pela teoria das partículas elementares, e o macrocosmo – a estrutura global do universo – estão se fundindo em um único e ambicioso projeto de pesquisa.

EXPLOSÃO QUENTE. A moderna cosmologia relativística tem como suporte observacional as evidências produzidas pela chamada astronomia profunda e, como quadro conceitual de fundo, a teoria da relatividade geral, que permite caracterizar o cenário global em que ocorrem os acontecimentos físicos. Na linguagem técnica da cosmologia, dá-se a esse cenário o nome contínuo espaço-tempo, que é formado pela ‘unificação’ das três dimensões espaciais (x , y e z) e da dimensão temporal (t). É nele que acontecem os processos físicos relevantes em escala cósmica.

Em 1917, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) promoveu, em sua teoria da relatividade geral, uma fecunda e imprevisível combinação entre a interação gravitacional – a força universal de atração entre as massas, descoberta pelo fi-

Figura 1. Ainda na década de 1920, a descoberta extraordinária do astrônomo Edwin Hubble mostrou que as galáxias encontram-se em um estado dinâmico de afastamento mútuo ou expansão. Com isso, abriu-se caminho para a popularização da imagem da ‘Grande Explosão Primordial’ (em inglês *Big Bang*) como origem do cosmos atual.

sico e matemático inglês Isaac Newton (1642-1727) – e a estrutura geométrica do contínuo espaço-tempo, que permite aos observadores estabelecer o conceito fundamental de intervalo (ou separação) entre eventos.

Deformações ou tensões na tessitura do espaço-tempo passam a ser equivalentes à atuação de forças gravitacionais: geometria torna-se força ou, em outras palavras, a massa de um corpo deforma o espaço e essa deformação determina como as outras massas devem se movimentar.

Os notáveis sucessos da teoria no que toca a fenômenos gravitacionais e eletromagnéticos na escala de nosso Sistema Solar a estabeleceram como o quadro conceitual de fundo no qual se pôde assimilar a extraordinária observação do astrônomo norte-americano Edwin Hubble (1889-1953), na década de 1920, de que o universo astronômico se encontraria, como um todo, em um estado dinâmico de expansão (o chamado ‘afastamento uniforme das galáxias’).

Mais tarde, os estudos do físico russo George Gamow (1904-1968) sobre o comportamento da matéria em um estágio primordial muito denso e quente iriam servir para consolidar, já na década de 1970, o chamado modelo padrão da ‘Grande Explosão Quente’ (ou, em inglês, *Hot Big Bang*).

UMA DISCIPLINA DA FÍSICA. Hoje, as observações de que dispomos nos delineiam o panorama de um universo muitíssimo vasto, bem como expansivo – ou seja, transiente, dinâmico, evolutivo – e notavelmente homogêneo – mais ‘liso’, ou uniforme, que a superfície de uma bola de bilhar.

>>>



Figura 2. A imagem mais penetrante que jamais se obteve do cosmos, feita pela câmara de campo profundo (*Deep Field Camera*) do telescópio espacial norte-americano Hubble, entre 18 e 30 de dezembro de 1995, mostrando milhares e milhares de galáxias que jamais haviam sido vistas, cada uma composta por bilhões de estrelas, estendendo-se ao longo da inimaginável distância de dez bilhões de anos-luz.

Em conjugação com as teorias de unificação da física de partículas elementares, os modelos cosmológicos que tratam o universo como homogêneo permitiram a elaboração de uma ‘história térmica’ da matéria presente no cosmos, constituindo um quadro descritivo bem aproximado que abrange desde um prodigioso ‘disparo’ inicial (*Big Bang*), que assinalaria a entrada em existência do próprio universo, até a fase homogênea, pouco densa e moderadamente expansiva que testemunhamos hoje.

Esses elementos fundamentaram a instalação, na década passada, do modelo da ‘Grande Explosão Quente’ como o paradigma do conhecimento cosmológico contemporâneo. O Modelo Padrão, de fato, foi bem-sucedido em incorporar as evidências da expansão cosmológica e da presença de uma radiação térmica ‘fóssil’ – a chamada radiação cósmica de fundo de 2,7 kelvin, temperatura equivalente a cerca de 270 graus celsius negativos –, bem como em reproduzir adequadamente as abundâncias globais observadas dos elementos químicos.

Assim, pela primeira vez, foi produzida uma cosmogonia legitimamente científica, por ser verificável pela observação. A cosmologia tornou-se assim uma disciplina própria da física.

MODELO EM DIFICULDADES. Apesar desses sucessos, o Modelo Padrão apresenta uma série de graves dificuldades técnicas e filosóficas que podemos agrupar genericamente sob dois títulos:

1. problemas das condições iniciais: origem da homogeneidade hoje verificada; natureza da ‘matéria escura’ que comporia

PROGRAMA DE PESQUISA TEM VASTO NÚMERO DE TEMAS

Desde sua criação, na primeira metade da década de 1970, o Grupo de Cosmologia e Gravitação, ligado ao Laboratório de Cosmologia e Física Experimental de Altas Energias (Lafex), do CBPF, tem participado ativamente da produção científica do país. Alguns dados atestam de forma inequívoca essa contribuição: realização de 32 teses de mestrado e 18 de doutorado; publicação de mais de 200 artigos científicos em revistas científicas brasileiras e internacionais de prestígio; a apresentação de aproximadamente uma centena de trabalhos em vários eventos científicos no Brasil e no exterior; produção de uma dezena de livros e mais 40 capítulos em outras obras – entre esses livros estão os *Anais das*

Escolas de Cosmologia e Gravitação, encontro organizado e sediado no CBPF que vem se realizando, sem interrupção, nos últimos 20 anos.

Além disso, nosso grupo tem mantido um intenso intercâmbio com institutos e universidades brasileiras e estrangeiras, recebendo recentemente convite para ingressar na prestigiosa rede ICRA (*International Center for Relativistic Astrophysics*) – ver nesta edição a seção ‘Tome Nota’.

A seguir, apresentamos um breve resumo das principais linhas de pesquisa seguidas pelo Grupo de Cosmologia e Gravitação do CBPF, ressaltando que os temas mencionados são interligados e formam um único e abrangente programa de pesquisas:

Exame de uma alternativa competitiva à teoria da relatividade geral; estudo da interação gravitacional em curto alcance; investigação das propriedades do universo em sua fase extremamente densa, mas não singular (nesse tema, nosso grupo desenvolveu um trabalho de análise de questões cosmológicas denominado ‘Programa do Universo Eterno’); estudo sobre a formação de galáxias e aglomerados de galáxias; exame da estabilidade dos modelos cosmológicos (do tipo homogêneos e isotrópicos); estudo das definições, ainda incompletas, do conceito de energia gravitacional; construção teórica de uma ‘cápsula causal’, onde seriam possíveis curvas temporais fechadas (ou ‘viagens no tempo’); formulação de um modelo

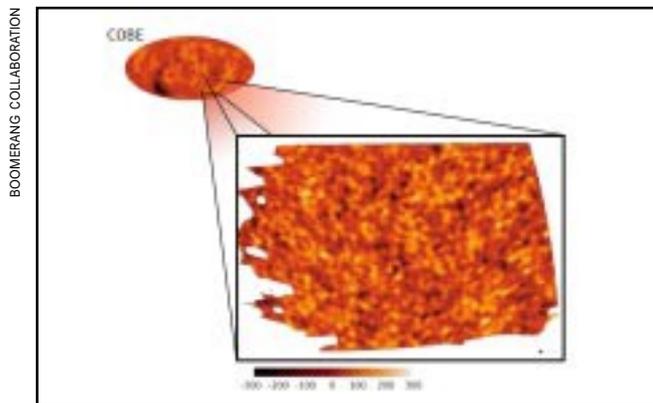


Figura 3. Ao final de 2000, um balão flutuando sobre a gélida superfície da Antártida proporcionou a melhor visão já obtida sobre o universo primordial. Medindo as irregularidades da radiação cósmica de fundo de 2,7 kelvin, o experimento Boomerang mostrou que, em seus primórdios, o cosmos era extremamente homogêneo e regular – na verdade, cem vezes mais ‘liso’ que uma bola de bilhar.

a maior parte do conteúdo material do cosmos; problema da formação de estruturas como aglomerados e galáxias;

2. problemas da singularidade: valores infinitos que as grandezas físicas adquirem na origem explosiva do universo; proveniência inescrutável das leis físicas, dado que a singularidade inicial é uma fronteira absoluta para todo o conhecimento.

Esses aspectos incômodos, bem como a escassez de observações definitivas sobre o comportamento dos campos físicos sob condições extremas (ou seja, não-solares) conduziram ao surgimento, nos últimos anos, de uma série de propostas alternativas visando eliminar – ou ao menos atenuar – as características problemáticas exibidas pelo Modelo Padrão, através da alteração ou substituição de alguns dos ingredientes básicos em jogo (ver ‘Programa de pesquisa tem vasto número de temas’).

aplicável ao universo em seus primeiros instantes, com base na unificação da teoria da relatividade geral e da mecânica quântica; aplicação da teoria quântica a espaços curvos; verificação teórica da existência de sistemas puramente eletromagnéticos semelhantes a sistemas gravitacionais (por exemplo, a possibilidade de haver buracos negros eletromagnéticos); investigação de sistemas macroscópicos em interação com o campo gravitacional; busca de evidências sobre a mudança da estrutura (topologia) do espaço nos primórdios da evolução do universo; e aplicação do conceito de caos ao problema de formação de estruturas como galáxias e aglomerados de galáxias.



Sentados (esq. para dir.): José Martins Salim, Mário Novello e Ívano Damião Soares; em pé (esq. para dir.): Nelson Pinto Neto, Santiago Esteban Perez Bergliaffa, Herman Julio Mosquera Cuesta e Eduardo V. Tonini.

PERSPECTIVA EXCITANTE. Assim, parece crescer entre os cosmólogos o entendimento de que a cosmogonia associada ao Modelo Padrão singular, que prevê toda a massa do universo ‘compactada’ em um ponto adimensional antes da ‘detonação’ inicial, representaria um estágio preliminar de uma teoria cosmológica mais completa, ainda por ser estabelecida. Por exemplo, diferentes abordagens, clássicas e quânticas, têm coincidido na obtenção de cenários homogêneos, porém não singulares, compatíveis com modelos de universos eternos, sem ‘princípio’ nem ‘fim’. Caberia, então, indagar: estaríamos a ponto de presenciar uma autêntica transição ou revolução paradigmática na cosmologia?

A resposta a essa pergunta só virá com a obtenção de novas evidências cósmicas que poderão regular a seleção entre as variadas abordagens em curso hoje em dia e definir as linhas gerais de uma cosmovisão reconhecidamente mais aperfeiçoada. A inauguração, na presente década, de aparatos de medida inovadores – detectores de ondas gravitacionais e de neutrinos cósmicos, bem como de novos telescópios terrestres e espaciais – permitirá pôr em teste muitas de nossas atuais concepções fundamentais sobre o universo em larga escala – inclusive sobre a própria teoria da relatividade geral –, permitindo antecipar a excitante perspectiva de importantes inovações em curto e médio prazos. ■