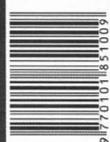


REVISTA DE
DIVULGAÇÃO
CIENTÍFICA
DA SBPC

266

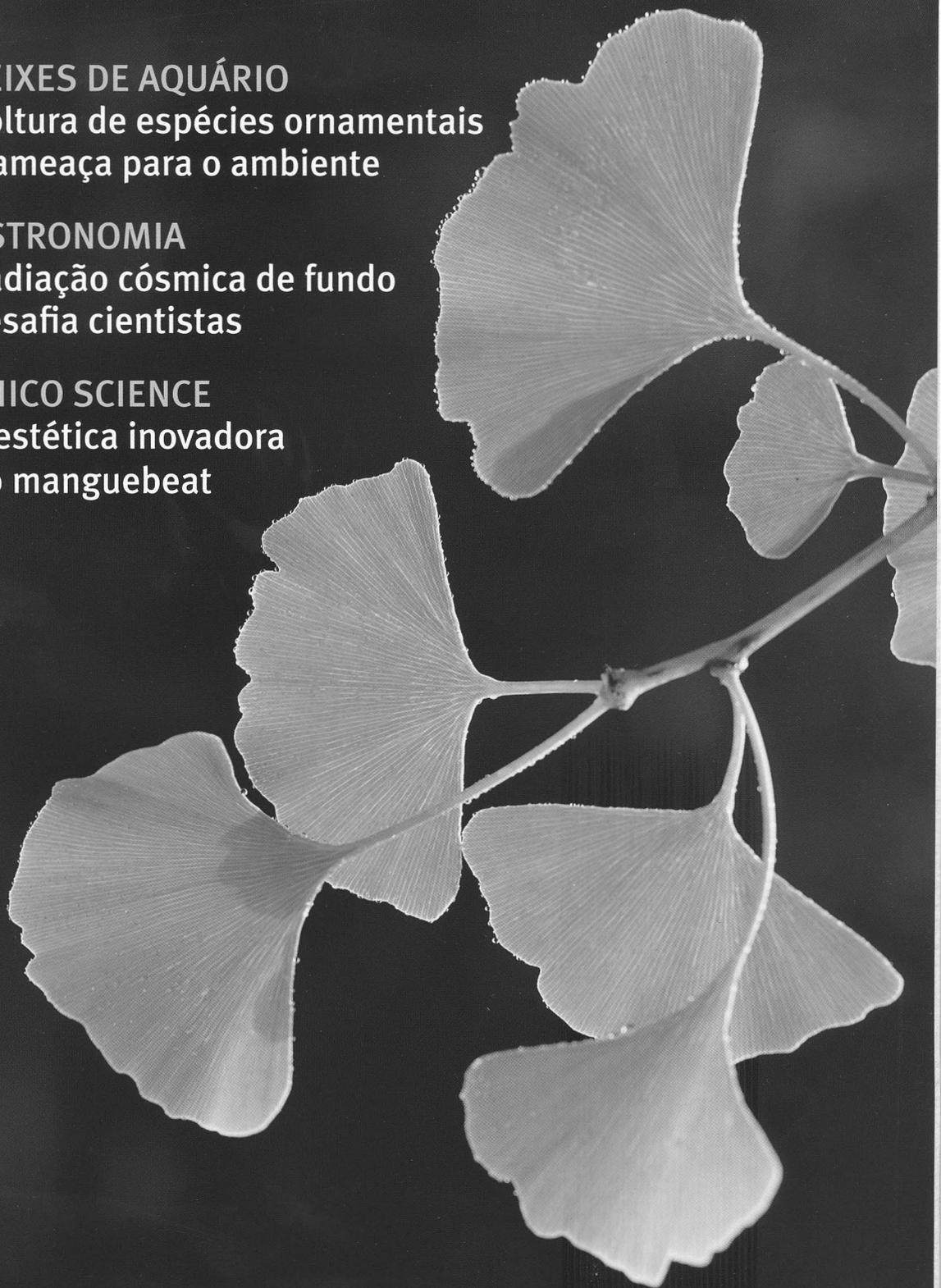


VOL. 45
DEZEMBRO
2009
R\$ 9,95

PEIXES DE AQUÁRIO
Soltura de espécies ornamentais
é ameaça para o ambiente

ASTRONOMIA
Radiação cósmica de fundo
desafia cientistas

CHICO SCIENCE
A estética inovadora
do maguebeat



Ginkgo biloba

Natural, sim. Mas sem risco?

A RADIAÇÃO CÓS



**O RUÍDO DO
UNIVERSO**



MICA DE FUNDO

Um ruído fraco está presente em todos os lugares do universo, independentemente da direção em que observamos o céu. Esse ruído é captado até mesmo por TVs. Para notá-lo mais claramente, basta deixar o aparelho ligado em um canal em que não haja transmissão: um 'chuveiro' aparecerá na tela, e um chiado será ouvido no alto-falante. Cerca de 1% desse ruído – conhecido como radiação cósmica de fundo em micro-ondas – viajou desde os primeiros instantes do universo para chegar até nossos aparelhos. Nas últimas décadas, graças às observações dessa radiação, a astronomia e a física sofreram avanços espetaculares. Mas o que é esse ruído? Como ele foi descoberto? Qual é a importância dele para a astronomia?

Thyrso Villela Neto

*Divisão de Astrofísica, Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas,
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (São José dos Campos, SP)*

A radiação cósmica de fundo em micro-ondas (RCFM) é um ruído de origem cosmológica que pode ser observado hoje em todo o céu. Ela, portanto, chega à Terra, vinda de todas as direções do espaço. A RCFM pode ser entendida como um 'fóssil' de uma época em que o universo ainda era muito jovem – muito antes de surgirem as primeiras galáxias –, quando a matéria era predominantemente constituída por prótons e elétrons, que formavam, juntamente com as partículas (fótons) que constituem a RCFM, uma espécie de sopa primordial, quentíssima.

De seu início, supostamente em um estado de grande densidade e alta temperatura, o universo evoluiu constantemente, se expandindo. Quando tinha aproximadamente 380 mil anos de idade, com temperatura em torno de 3 mil kelvin (algo como 2,7 mil graus celsius), radiação (fótons) e matéria (prótons e elétrons) ainda interagiam bastante. A partir dessa época, a energia média dos fótons se tornou menor do que a energia necessária para manter separados esses dois tipos de partículas. Como consequência, os elétrons (negativos) foram capturados pelos prótons (positivos), formando átomos neutros de hidrogênio (figura 1).

Com a diminuição do número de elétrons livres, matéria e radiação passaram a não mais interagir de forma significativa, e ocorreu a separação entre elas. Essa época é conhecida como recombinação.

RETRATO DA INFÂNCIA

A RCFM é uma das mais poderosas ferramentas de estudo da cosmologia. Nenhum outro dado astronômico revela um passado mais remoto do universo, nem mesmo as observações de galáxias e dos quasares mais distantes. Algumas comparações: i) a luz do Sol viaja cerca de oito minutos para chegar até nós; ii) a luz da estrela mais perto da Terra leva cerca de quatro anos e meio para chegar aqui; iii) a luz da galáxia Andrômeda, uma das mais próximas ao nosso planeta, precisa de alguns milhões de anos para nos atingir; iv) a RCFM, por sua vez, leva em torno de 13,3 bilhões de anos para fazer essa

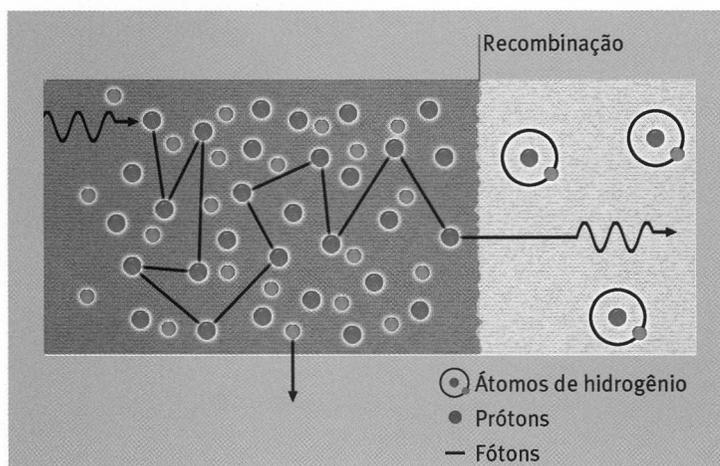


Figura 1. Cerca de 380 mil anos depois do *Big Bang*, quando a temperatura do universo era algo em torno de 2,7 mil graus celsius, matéria e energia ainda interagiam bastante. À medida que o universo foi esfriando, prótons e elétrons começaram a se combinar, para formar átomos de hidrogênio, e os fótons (radiação) passam a caminhar livremente. Essa época é conhecida como recombinação

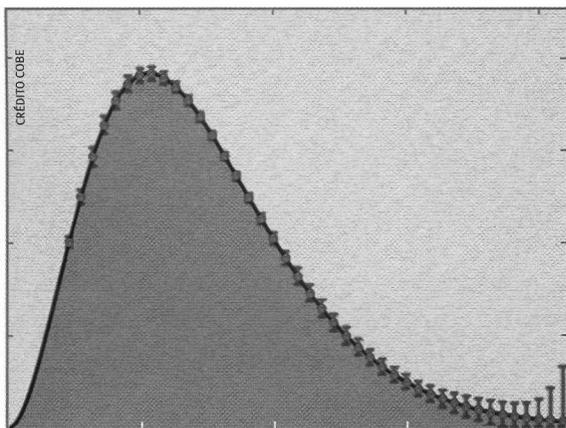


Figura 2. Dados obtidos pelo detector Firas, instalado no satélite COBE, mostram coincidência impressionante entre o espectro de energia da RCFM (pontos com barras) e aquele de um corpo negro à temperatura de 2,7 kelvin (curva)

viagem. Portanto, estudar essa radiação é como observar um retrato do universo com apenas 380 mil anos – em tempos cosmológicos, praticamente um recém-nascido.

Os astrofísicos buscam medir propriedades da RCFM para entender o que aconteceu no início do universo. Essas medidas são feitas por experimentos que observam o céu na faixa de micro-ondas, com instrumentos que efetuam essas medidas no solo (em geral, em locais de altas altitudes) ou no espaço (a bordo de satélites, foguetes e balões estratosféricos).

COMO UM CORPO NEGRO

A existência da RCFM foi prevista, na década de 1940, pelo físico russo George Gamow (1904-1968), em parceria com dois colegas norte-americanos, Ralph Alpher (1921-2007) e Robert Herman (1914-1997). Isso se deu quando o trio estudou a origem dos elementos químicos e o estado da matéria no universo primordial.

Se esse modelo estivesse correto, o espectro dessa radiação (o modo como sua intensidade varia com a frequência) deveria ser semelhante ao espectro de um corpo negro, ou seja, um objeto hipotético que absorve toda a radiação que incide sobre ele. A intensidade da radiação devolvida ao meio por um corpo negro depende apenas da temperatura. Hipoteticamente, se um corpo negro estiver a 0 kelvin, ele não emitirá radiação alguma. Já a 2,7 kelvin (cerca de 270 graus celsius negativos), sua emissão será, principalmente, na faixa de micro-ondas.

Mas qual a relação disso com o universo?

A RCFM tem uma temperatura de aproximadamente 2,7 kelvin – daí o termo ‘micro-ondas’ em seu nome. Como ela é observada em todas as direções, podemos deduzir que a temperatura média do universo hoje é também 2,7 kelvin (figura 2). Se a RCFM tivesse realmente espectro de corpo negro, significaria que o universo teria passado por um período de equilíbrio térmico entre radiação e matéria, como previsto pelo modelo.

Qualquer perturbação que a matéria tenha sofrido no início do universo teria sido também sentida pela RCFM, devido ao fato de essas duas componentes terem estado fortemente acopladas. Portanto, é natural pensar que as perturbações (ou variações) na temperatura da RCFM (isto é, desvios do espectro original dessa radiação) possam nos dar pistas sobre os processos físicos que reinaram no universo primordial e que levaram à formação das estruturas de matéria. Essa é uma ideia interessante, porque não temos maneira direta de investigar

esses processos, pois é impossível voltar o filme da história da evolução do universo, que mostraria como as galáxias e os aglomerados de galáxias se formaram. Essas estruturas já estão formadas, e não temos outro acesso ao início do universo a não ser por meio de estudos de pequenos desvios da forma do corpo negro na RCFM, ou seja, de pequenos desvios de sua temperatura.

TAREFA DIFÍCIL

Medir o espectro da RCFM de forma a verificar se ele realmente era semelhante ao de um corpo negro foi tarefa muito difícil, porque essa radiação é um sinal muito fraco, e observá-lo em várias frequências é também um grande desafio.

Outro problema: medir diferenças extremamente pequenas (da ordem de centésimos de milésimo de graus celsius) de temperatura no céu. Para isso, foi necessário empregar os melhores receptores de micro-ondas, as melhores técnicas de baixa temperatura (criogenia), entre outros recursos, para que os experimentos pudessem efetivamente medir algum sinal de origem cosmológica.

Vários fatores complicam a realização desses experimentos: nossa atmosfera, que emite micro-ondas e também absorve parte das que vêm do céu; nossa própria galáxia (a Via Láctea), que ocupa grande área do céu e atrapalha a observação direta das micro-ondas cosmológicas; e até as emissões do próprio instrumento de medição, milhões de vezes mais intensas que essas pequenas flutuações de temperatura da RCFM.

O desafio não era só científico. Era também tecnológico.

GRANDE PREOCUPAÇÃO

Observações da RCFM só foram possíveis depois de ter sido aperfeiçoada a tecnologia de detecção desse tipo de onda eletromagnética.

A primeira observação de ondas de rádio provenientes do céu ocorreu, em 1931, de forma acidental. O engenheiro norte-americano Karl Jansky (1905-1950), que trabalhava na investigação de problemas de comunicação entre as cidades de Nova York e Londres, descobriu que ondas de rádio chegavam à Terra, vindas da Via Láctea.

Em 1964, pouco mais de 30 anos após a descoberta de Jansky, outros dois pesquisadores norte-americanos, Arno Penzias e Robert Wilson, dos Laboratórios Bell (Estados Unidos), estavam testando receptores para serem usados em medidas da

emissão em micro-ondas de nossa galáxia quando se depararam com um ruído persistente em suas observações. Independentemente da região do céu para a qual apontavam a antena, do dia e da hora, o excesso de sinal que eles mediam era sempre o mesmo.

A observação de Penzias e Wilson não era suficiente para mostrar que a RCFM seguia a lei do corpo negro, porque só um ponto do espectro havia sido medido (na frequência de 4 gigahertz). Apesar dessa dúvida, a dupla ganhou o Nobel de Física de 1978 pela descoberta da RCFM.

Ironicamente, quando eles recebiam o prêmio, na Suécia, os resultados de um grupo da Universidade da Califórnia, em Berkeley (Estados Unidos), estavam sendo submetidos a publicação. O artigo relatava desvios da curva característica de um corpo negro.

Uma grande preocupação tomou conta da comunidade científica.

GRANDE EXPLOÇÃO

Tentativas de se medir o espectro da RCFM foram feitas para verificar se ele realmente era consistente com o previsto pela lei que rege o comportamento de um corpo negro, a chamada lei de Planck, homenagem ao físico alemão Max Planck (1858-1947). Esses experimentos, no entanto, não definiram claramente a situação.

Finalmente, a confirmação de que a RCFM tem espectro de corpo negro quase perfeito veio por meio das observações feitas com o detector Firas (sigla, em inglês, para espectrômetro absoluto de infravermelho distante), em 1990, um dos experimentos que estavam a bordo do satélite Cobe (sigla, em inglês, para Explorador do Ruído de Fundo Cósmico). Esse resultado se tornou uma das mais fortes evidências a favor do modelo conhecido por *Hot Big Bang* (hoje, apenas *Big Bang*), que defende que o universo começou a partir de uma 'explosão'.

Mas, paralelamente às tentativas de se medir o espectro da RCFM, era necessário verificar se a RCFM realmente estava presente em todo o céu e se ela apresentava desvios de sua temperatura. A ideia era testar a hipótese de que, se a RCFM tivesse realmente origem cosmológica, um observador que se movesse em relação a ela deveria observar o efeito desse deslocamento, do mesmo modo que uma pessoa percebe a alteração no som de uma sirene de ambulância caso esta esteja se aproximando ou se afastando dela – esse fenômeno é chamado efeito Doppler, estudado pelo físico austríaco Christian Doppler (1803-1853).

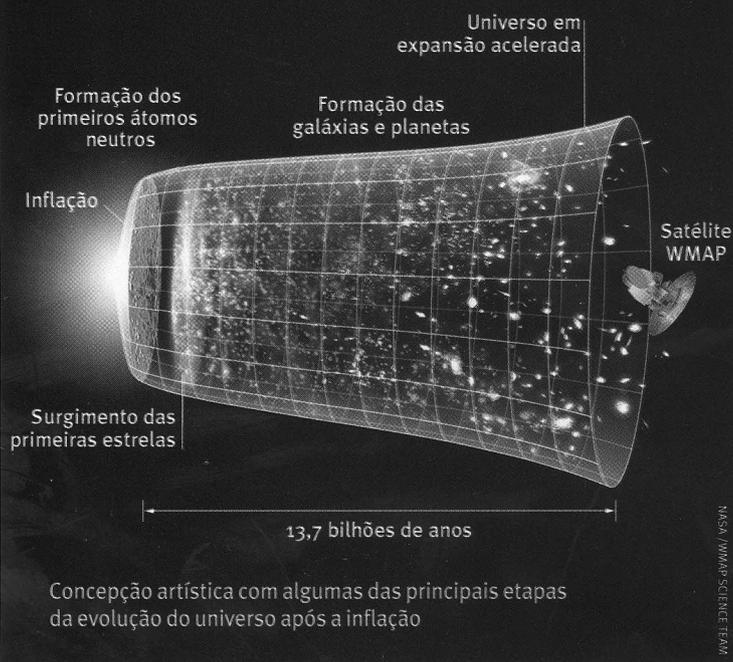
Inflação: solução de um problema

O fato de a temperatura da RCFM ser igual em todas as direções do espaço foi um ponto a favor do modelo *Big Bang*, que prevê essa 'homogeneidade' (isotropia). Mas esse resultado trazia embutido um problema: como era possível que regiões tão distantes no céu tivessem a mesma temperatura?

Se considerarmos que toda informação só pode ser transmitida tendo a velocidade da luz como limite superior (300 mil km/s), não seria possível que essas regiões tivessem 'trocado informação' (no caso, tivessem atingido a mesma temperatura). Isso seria impossível pelas restrições impostas pela velocidade da luz e pela idade estimada do universo.

Como, então, todas as regiões do universo têm a mesma temperatura?

Para solucionar esse problema, uma ideia nova foi introduzida no modelo cosmológico: a inflação. Ela faz a suposição de que o universo nos seus instantes iniciais, quando era extremamente pequeno, passou por um momento de rápida expansão, fazendo com que as informações pudessem ser transmitidas de um ponto a outro, mesmo muito distantes entre si, explicando assim a isotropia da RCFM observada hoje (figura).



Se a ambulância se aproxima de nós, percebemos seu som mais agudo; se ela se afasta, o som da sirene se torna mais grave. No caso da RCFM, ocorre algo semelhante: se nos movemos contra ela (sentidos opostos), notamos que ela aumenta de temperatura; se o deslocamento se dá no mesmo sentido, sua temperatura para nós diminui.

PROVA DEFINITIVA

Vários experimentos a bordo de balões conseguiram resultados muito bons ao medir o efeito Doppler da RCFM. A figura 3, construída com dados obtidos pelo detector DMR (sigla, em inglês, para radiômetro diferencial de micro-ondas), a bordo do Cobe, mostra como é a variação de temperatura da RCFM no céu. Os mapas foram construídos em cores falsas, apenas para nos ajudar a visualizar um fenômeno que nossos olhos não veem, pois ele se manifesta na faixa de micro-ondas.

Se observado de forma superficial (figura 3A), o céu se apresenta totalmente uniforme em termos de temperatura, sem nenhuma estrutura aparente (ver 'Inflação: solução de um problema'). Quando melhoramos a qualidade das medidas por um fator mil, o céu se apresenta com duas regiões de temperaturas claramente diferentes (laranja e azul), separadas de 180 graus (figura 3B). Esse efeito se deve ao nosso movimento – o da Terra – em relação à RCFM, que provoca uma diferença de temperatura, da ordem de três milésimos de graus celsius entre duas direções do céu: em um sentido, a temperatura é maior (mancha laranja); no outro, a temperatura é menor (azul).

As observações estavam mostrando que a RCFM tinha realmente origem cosmológica, mas faltava a prova definitiva: o retrato do universo primordial impresso nas pequenas flutuações de temperatura da RCFM, que nos revelaria o que teria acontecido com a matéria.

SENSIBILIDADE E PRECISÃO

A detecção dessas flutuações de temperatura da RCFM foi feita pelo DMR em 1992. Essas flutuações são da ordem de microkelvin (milionésimos de grau centígrado). Essa descoberta foi considerada uma das mais importantes da ciência recente e teve profundo impacto na cosmologia, pois, pela primeira vez, revelava como era o universo há mais de 13 bilhões de anos.

CEDIDO PELO AUTOR

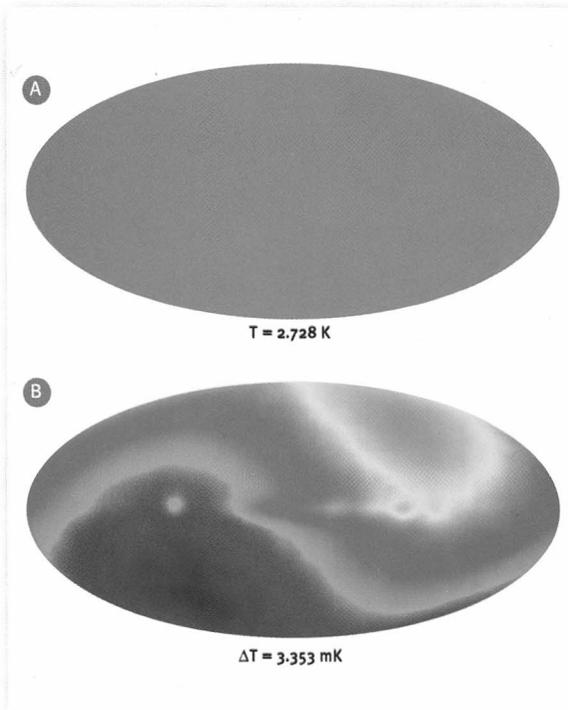


Figura 3. Em A, o céu observado de forma superficial, com uma temperatura da RCFM completamente homogênea. Em B, quando a qualidade das medidas aumenta mil vezes, notam-se claramente duas regiões, separadas de 180 graus, com temperaturas diferentes (laranja, mais quente; azul, mais fria). Isso se deve ao fato de a Terra estar se movendo em relação à RCFM. Esse resultado mostrou que a RCFM tem origem cosmológica

COBE/WMAP

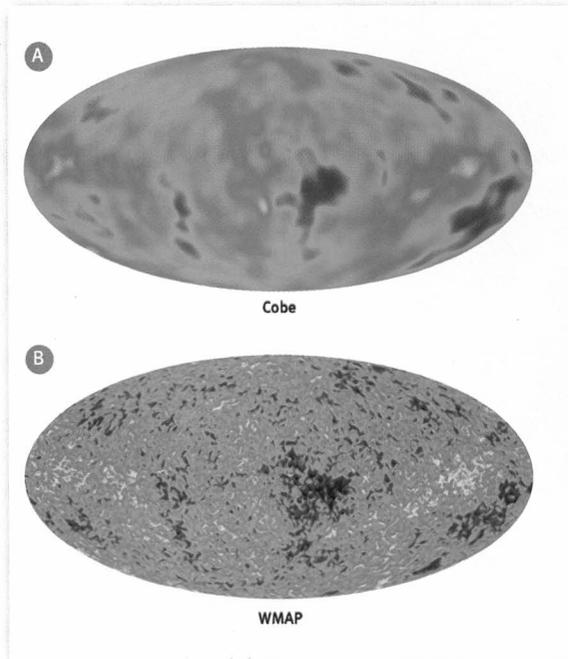


Figura 4. Em A, flutuação da temperatura da RCFM medida pelo satélite Cobe. Em B, do mesmo tipo de medida feita pelo satélite WMAP. As partes vermelhas representam as temperaturas mais altas; as azuis, as mais frias

Embora notáveis, os resultados do DMR apresentavam uma limitação: os dados não permitiam que fossem obtidas informações sobre o processo de formação de galáxias – só foi possível se ter ideia de como eram as grandes estruturas. Por isso, outros experimentos, operando no solo, a bordo de balões e satélites, começaram a medir flutuações de temperatura da RCFM em uma grande faixa de frequências, com grande sensibilidade.

Entre esses experimentos, destaca-se o satélite WMAP (sigla inglesa para Sonda Wilkinson para Anisotropia em Micro-ondas), lançado em 2001. Em relação ao Cobe, ele é 45 vezes mais sensível e consegue ver detalhes de como a RCFM se distribui no céu de forma 33 vezes mais precisa. A figura 4 ilustra essas características do WMAP, comparadas com um mapa do Cobe.

Os dados do WMAP permitiram determinar com precisão quantidades fundamentais do universo, como idade, composição, geometria.

GRANDES DESAFIOS

O advento da era espacial proporcionou um avanço fenomenal na astronomia. Particularmente, os estudos sobre a RCFM foram muito beneficiados com o lançamento de quatro satélites nos últimos 26 anos: o Relict, o Cobe, o WMAP e, este ano, o Planck, da agência espacial europeia (ESA). Fora essas sondas, vários experimentos foram feitos – inclusive por pesquisadores brasileiros –, tendo por base tecnologia espacial e utilizando-se de balões estratosféricos e foguetes. Dessa forma, a atmosfera finalmente foi vencida, e descobrimos, por meio das observações da RCFM, que o universo ainda nos reserva muitas surpresas.

Há 400 anos, Galileu, ao lançar seu olhar para o céu, através de um telescópio, certamente não poderia imaginar que descobriríamos tantas coisas sobre o universo ao observar um ruído que não pode ser visto com os nossos olhos...

Nas últimas décadas, graças às observações da RCFM, a astronomia e, conseqüentemente, toda a física sofreram avanço espetacular. Os grandes desafios que a natureza nos apresenta – e que no início do século passado estavam ligados ao mundo microscópico – estão hoje relacionados às grandes escalas do universo.

E a RCFM continua nos ajudando a superar esses desafios!

Sugestões para leitura

- MAKLER, M.; VILLELA, T.
'Cosmologia – a busca pela origem, evolução e estrutura do universo'. *Série Desafios da Física* (CBPF). Disponível em formato PDF em <http://mesonpi.cat.cbpf.br/desafios/>
- ABDALLA, M. C. B.; VILLELA, T.
Novas janelas para o universo. São Paulo: Editora Unesp (2005).
- VILLELA, T.
'Cosmologia'. In: Ivan S. Oliveira e Cássio Leite Vieira (orgs.). *Física hoje, uma aventura pela natureza: dos átomos ao universo*. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje, 2007, p. 53-67.
- VILLELA, T.; WUENSCH, C. A. 'Ecos de um passado distante'. *Ciência Hoje*, v. 39, n. 233, p. 12-14 (2006).
- VILLELA, T.
'A energia escura'. *Ciência Hoje*, v. 35, n. 206, p. 14-15 (2004).
- VILLELA, T.; FERREIRA, I.; WUENSCH, C. A. 'Cosmologia observacional: a radiação cósmica de fundo em micro-ondas'. *Revista da USP* v. 62, pp. 104-115 (2004).