

Cosmologia

A aventura espetacular
da descoberta do universo



Entre o final do século 19 e as primeiras décadas do século passado, estávamos maravilhados com o diminuto mundo atômico e ainda não percebíamos que o universo, em grandes escalas, nos guardava surpresas ainda mais interessantes e desafiadoras. Não sabíamos sequer que existiam galáxias.

Os poucos objetos estranhos então observados no céu ganhavam o nome de 'nebulosas', dada a sua aparência. Mais tarde, para espanto até da comunidade científica, foram reconhecidos como enormes conjuntos de estrelas, como a nossa Via Láctea. Ironicamente, nessa época, nebuloso também era o nosso conhecimento sobre o universo. Não sabíamos quase nada sobre ele e nos limitávamos às observações ópticas do céu, pois nem mesmo a radioastronomia havia sido criada.

A cosmologia – que estuda o universo como um todo, tentando explicar sua origem, evolução e seu estado atual – começava, então, a engatinhar rumo à aventura espetacular da descoberta do cosmos.

Thyrso Villela Neto

*Divisão de Astrofísica,
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (SP)*

Representação artística da Via Láctea, que abriga o nosso sistema solar. A Via Láctea é uma entre as bilhões de galáxias do universo

A cosmologia contou com vários fatores que contribuíram para o seu grande desenvolvimento no último século: teorias e modelos mais elaborados e observações do céu cada vez mais numerosas e precisas. Entre estas últimas, se destacam a abertura de novas janelas para o universo – como a proporcionada pela radioastronomia –, bem como a possibilidade de colocar telescópios no espaço, livres da influência da atmosfera terrestre.

No início do século passado, os astrofísicos dispunham de poucas informações sobre o céu e, conseqüentemente, não podiam fazer muitas inferências cosmológicas. Medir grandes distâncias no universo sempre foi um enorme desafio para os astrônomos. Esse problema começou a ser minimizado em 1912, quando a norte-americana Henrietta Leavitt (1868-1921), ao estudar estrelas variáveis conhecidas como cefeidas, descobriu que existe uma relação entre o período de variação do brilho dessas estrelas e sua luminosidade intrínseca, de forma que, quanto maior for esse período, maior também será a luminosidade.

Assim, passou a ser possível estimar grandes distâncias no universo, pois essas estrelas podem ser consideradas como uma espécie de padrão de calibração para distâncias astronômicas. Espera-se que as cefeidas apresentem sempre o mesmo com-

portamento, independentemente de onde estejam, possibilitando, dessa forma, uma estimativa direta da distância a partir da medida do período de variação de sua luminosidade. Uma contribuição fabulosa!

Também a partir de 1912, outro norte-americano, Vesto Slipher (1875-1969), começou um trabalho monumental ao fazer observações sistemáticas de nebulosas. Ele desconfiou que as nebulosas espirais e algumas elípticas estavam se afastando de nós com grandes velocidades, de forma que considerá-las como membros da Via Láctea passou a ser algo questionável. Eram as primeiras evidências de que o universo estava se expandindo.

Um grande debate

Simultaneamente a essas descobertas, baseadas na observação, outra revolução no campo da teoria estava acontecendo. Em 1916, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) propôs a teoria da relatividade geral e mudou a forma como encaramos a gravidade. Em fenômenos que não envolvem massas gigantes – a partir das solares – e velocidades próximas à da luz (300 mil km/s), as diferenças entre a teoria da gravitação proposta no século 17 pelo ▶

físico e matemático inglês Isaac Newton (1642-1727) e a de Einstein são mínimas. No entanto, a relatividade geral conseguiu explicar as anomalias na órbita do planeta Mercúrio, encontradas 60 anos antes pelo francês Urbain Leverrier (1811-1877), bem como prever com exatidão como a luz é influenciada por um campo gravitacional, o que foi comprovado em um eclipse total do Sol observado por expedições científicas em 1919 na cidade de Sobral (Ceará) e na ilha de Príncipe, na costa oeste africana.

Assim como outros cientistas da época, Einstein achava que o universo era estático e, por isso, alterou parte das equações de sua teoria – que admitiam a possibilidade de expansão do universo –, de forma que ela espelhasse esse consenso. Ele fez essa modificação por meio da introdução de um termo que ficou conhecido como constante cosmológica, que serviria para ‘frear’ essa expansão.

Em 1915, Slipher publicou um trabalho no qual mostrou observações de 15 nebulosas, sendo que 11 delas apresentavam um deslocamento dessa luz para a faixa do vermelho. Eram fortes evidências de que as nebulosas estavam mesmo se afastando de nós. Como elas ainda não eram consideradas objetos extragalácticos, esse trabalho sofreu severas críticas, embora Slipher tenha recebido aplausos quando apresentou esse resultado na reunião da Sociedade Astronômica Americana, em agosto de 1914. Em 1917, o holandês Willem de Sitter (1872-1934) obteve uma solução para as equações de Einstein que admitia um universo em expansão e Slipher publicou outro trabalho, agora com mais dados, no qual cogitou que a Via Láctea não estaria em repouso em relação às nebulosas. Slipher calculou que a velocidade desse deslocamento relativo seria de 700 km/s e deu um passo intelectual muito importante ao dizer que as nebulosas espirais são sistemas estelares vistos a grandes distâncias. Em 1920, um grande debate foi estabelecido entre Herber Curtis (1872-1942) e Harlow Shapley (1885-1972) sobre a natureza das nebulosas. Curtis defendia a idéia de que elas não pertenciam à Via Láctea, enquanto Shapley dizia que elas seriam objetos da nossa galáxia. Pouco mais tarde, as observações astronômicas mostrariam que Slipher e Curtis estavam certos e seriam prenúncios das surpresas que o universo nos reservava.



FOTO MARGARET BOURKE-WHITE/TIME & LIFE PICTURES/GETTY IMAGES

O átomo primordial

Em 1922, o russo Aleksandr Friedmann (1888-1925) também percebeu que as equações da gravitação de Einstein poderiam descrever um universo em expansão. Essa solução implicava que o universo teria surgido em um dado momento no passado e que os objetos cósmicos estariam se afastando de nós. Toda a matéria teria sido criada nesse momento. De forma independente, o padre e astrônomo belga Georges Lemaître (1894-1966) notou, em 1927, que

O astrônomo Edwin Hubble (na imagem olhando o espaço através do telescópio do Observatório de Monte Wilson) demonstrou nos anos 20 que as nebulosas estavam fora da Via Láctea e que as galáxias se afastavam umas das outras

existia uma solução das equações de Einstein que indicavam um universo em expansão.

Em meados da década de 1920, o astrônomo norte-americano Edwin Hubble (1889-1953) determinou a distância de uma nebulosa na constelação de Andrômeda, usando, para isso, uma estrela cefeida. Estava demonstrado que as nebulosas tinham natureza extragaláctica. Em 1929, Hubble, observando mais galáxias e utilizando dados de Slipher, concluiu que elas se afastam mais rapidamente quanto mais longe estão de nós, estabelecendo um dos pilares observacionais da cosmologia moderna, conhecido como lei de Hubble.

Na verdade, o que ocorre é um afastamento mútuo entre as galáxias: qualquer observador que porventura estivesse em qualquer galáxia observaria exatamente o mesmo quadro. É como se todas as galáxias fossem pontos distribuídos na superfície de uma bola que aumenta de volume. Todos os pontos dessa superfície se afastam uns dos outros à medida que o volume da bola aumenta.

No início da década de 1930, Einstein, depois de tomar contato com os resultados de Hubble – ou seja, a constatação de que o universo está mesmo em expansão –, considerou sua constante cosmológica como o maior erro científico de sua vida. Mas, ironicamente, resultados recentes – como iremos discutir adiante – mostraram que Einstein, mais uma vez, podia estar certo. Em 1933, Lemaître publicou um trabalho no qual sugeriu a idéia de um átomo primordial para explicar o início do universo.

Um começo muito quente

O advento da teoria da relatividade geral e a suposição do princípio cosmológico – ou seja, a idéia de que o universo, em grandes escalas, é homogêneo e que as suas propriedades são as mesmas em qualquer direção do espaço – levaram à construção de um modelo para explicar a origem, a evolução e a estrutura do universo. Esse modelo ficou conhecido como ‘*Hot Big Bang*’ – ou, mais popularmente, como apenas *Big Bang* –, e faz as seguintes suposições:

- i) o universo está em expansão, o que explica a recessão (ou afastamento mútuo) das galáxias, daí a analogia – de certa forma errônea – com uma explosão e o termo *Big Bang* (grande explosão);
- ii) o universo se iniciou em um estado de altas temperaturas – daí o qualificativo *Hot* (quente) –,

o que explicaria a formação de elementos químicos leves (hidrogênio, hélio etc.) e a existência de uma ‘energia residual’, ou ruído, que permearia todo o cosmos e seria o resquício da época em que essas altas temperaturas reinavam no universo.

Esse modelo ganhou forma na década de 1940, quando o russo George Gamow (1904-1968), que havia sido aluno de Friedmann, refinou, juntamente com os norte-americanos Ralph Alpher e Robert Herman (1914-1997), a idéia do átomo primordial de Lemaître para explicar a formação dos elementos químicos.

Segundo pilar

A nucleossíntese primordial é o processo que explica a formação de elementos químicos no início do universo. Esse processo, segundo o modelo do *Big Bang*, ocorreu nos primeiros três minutos de vida do universo, pois a temperatura e a densidade nesse período eram apropriadas para a formação de elementos leves, como hidrogênio, hélio, deutério e lítio. Sabemos hoje que cerca de 25% da massa do universo estão na forma de hélio. Contudo, a maior parte do hélio produzido no universo, pelo processo de fusão de dois átomos de hidrogênio (núcleo formado por um próton) no núcleo das estrelas, continua no interior estelar. Além disso, sabemos que, no máximo, 10% do hidrogênio disponível no universo passaram por esse processo de conversão em hélio nos caldeirões estelares.

Também sabemos que o hidrogênio se encontra, geralmente, na forma de átomos simples e não como isótopos mais pesados desse elemento, como deutério (um próton e um nêutron) ou trítio (um próton e dois nêutrons). Deutério não é produzido nas estrelas; pelo contrário, é destruído no interior delas devido às altas temperaturas ali reinantes. Assim, a abundância e a distribuição uniforme de elementos leves no universo são difíceis de ser explicadas, a não ser que seja atribuída a eles uma origem primordial. As observações das abundâncias de elementos leves no universo formam, assim, o segundo pilar observacional do modelo do *Big Bang*.

Terceiro pilar

Entretanto, uma das observações astronômicas mais fantásticas do século passado refere-se à constatação de que todo o universo é permeado por um ruído ▶

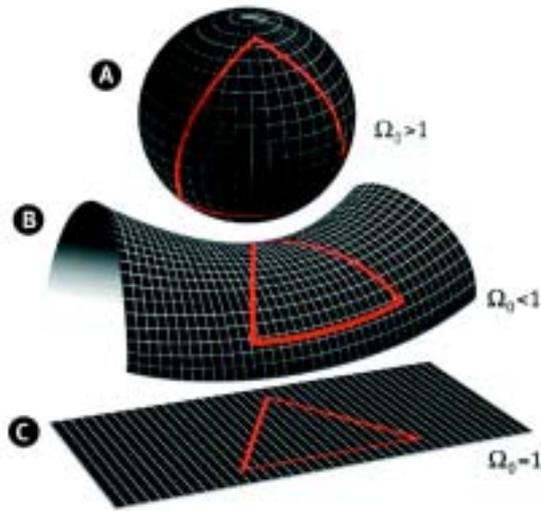


Figura 1. Três cenários possíveis segundo a relação entre a densidade atual de matéria do universo e a chamada densidade crítica (relação indicada pela letra Ω). A densidade crítica é da ordem de 10 átomos por metro cúbico

eletromagnético muito fraco. Independentemente da direção em que se observa o céu, esse ruído se mostra presente. O *Big Bang* previa que a ‘energia residual’ do início do universo teria uma temperatura, hoje, entre 5 e 10 K (kelvin) – entre -268 e -263 °C (graus celsius negativos) – e seria observada em qualquer região para a qual se apontasse um detector.

O ruído que se observa hoje no céu tem uma temperatura de 2,7 K, que é muito próxima daquela prevista pelo modelo. Essa temperatura nos permite deduzir que a intensidade máxima dessa energia se encontra na faixa de microondas. Por essa razão, ela é tecnicamente denominada radiação cósmica de fundo em microondas (RCFM). A RCFM foi descoberta, acidentalmente, há 40 anos, pelos norte-americanos Arno Penzias e Robert Wilson. Essa descoberta é considerada como uma das mais importantes da história da cosmologia observacional e, por isso, Penzias e Wilson ganharam o prêmio Nobel de Física de 1978. Essa evidência observacional é o terceiro pilar que sustenta o *Hot Big Bang*.

Estado estacionário

Naturalmente, uma idéia como a do *Hot Big Bang* para explicar a origem do universo encontrou fortes resistências. Na verdade, foi o britânico Fred Hoyle (1915-2001), que não gostava dessa idéia, quem chamou essa possibilidade, em tom jocoso, de *Big Bang*, e o apelido ‘pegou’. A tradução do termo *Big Bang* encerra controvérsias: comumente, o termo utilizado é ‘grande explosão’, mas há variantes como ‘estrondão’ e outras. Essa tradução usual leva, em geral, a uma má interpretação da idéia do *Big Bang*, pois não houve uma explosão em um

dado ponto do espaço, como somos levados a pensar. Na realidade, a criação do espaço e do tempo correspondia à própria criação do universo. Essas duas entidades estão unidas de forma indissociável no chamado contínuo espaço-tempo, um cenário de fundo em que os eventos ocorrem. Mas o que importa é a idéia utilizada para explicar fenômenos que saíram naturalmente de algumas equações antes mesmo que as observações fossem feitas!

Os austríacos Hermann Bondi e Thomas Gold (1920-2004), juntamente com Hoyle, desenvolveram, em 1948, um modelo de universo que ficou conhecido como ‘estado estacionário’, que pressunha a criação contínua de matéria para compensar o fato de que o universo se expandia. A idéia era mostrar que o universo não se alterava com o passar do tempo. No entanto, as observações astronômicas favoreceram o modelo do *Big Bang*.

As evidências (ou pilares) observacionais a favor do *Big Bang* são, como dito anteriormente: i) a recessão das galáxias; ii) a abundância de elementos leves; e iii) a existência da RCFM. Essas evidências, que confirmaram algumas das previsões desse modelo, fizeram com que ele ficasse conhecido como modelo cosmológico padrão e condenaram ao esquecimento o modelo estacionário. Entretanto, o *Big Bang* ainda está longe de fornecer uma descrição completa do universo. Ele vem sendo aperfeiçoado continuamente e ainda apresenta fra-

COBE / NASA



Figura 2. O satélite Cobe, da Nasa (agência espacial norte-americana), investigou a chamada radiação cósmica de fundo

gildades. Mas é o melhor modelo que temos hoje para explicar o que observamos no céu.

O futuro do universo

De modo simplificado, podemos dizer que o futuro do universo depende da quantidade de matéria que ele encerra. Mais especificamente, depende da relação entre a densidade atual de matéria e a chamada densidade crítica do universo. Essa última tem um valor de aproximadamente 10 átomos por metro cúbico, que é obtido quando se considera a quantidade de matéria necessária para reverter o processo de expansão do universo – ou dito mais tecnicamente, para tornar o espaço plano, como veremos a seguir. Ela é calculada em função da taxa atual de expansão. Esse valor é muito baixo se o compararmos com o vácuo que se consegue obter em laboratório! A atração gravitacional é que vai decidir se o universo colapsará ou se expandirá para sempre.

A relação entre a densidade atual de matéria e a densidade crítica é comumente denominada pela letra grega Ω (ômega), e dela podemos extrair três cenários:

- i) se Ω for maior que 1 – ou seja, se a densidade atual de matéria for maior que a densidade crítica –, então a gravidade fará com que o universo colapse – muitas vezes, esse fenômeno é denominado na literatura popular como *Big Crunch* (grande esmagamento); neste caso, a curvatura do espaço seria positiva, determinando um universo fechado e sem fronteiras (figura 1A);
- ii) se Ω for menor que 1 – ou seja, densidade atual menor que a densidade crítica –, a expansão se dará para sempre, o que significa que o universo terá um fim escuro e gelado; o fim, nesse caso, está ligado à morte térmica devida à exaustão das fontes de energia, porque, se ainda houvesse matéria disponível, o processo de formação estelar poderia continuar, pois galáxias são sistemas gravitacionalmente ligados e, internamente, não sofrem com a expansão global; para $\Omega < 1$, a curvatura é negativa, determinando um universo dito aberto e ilimitado (figura 1B);
- iii) se $\Omega = 1$, o universo também se expandirá para sempre, mas a uma taxa que vai se reduzindo; este é o caso em que a curvatura do espaço é nula e que determina o chamado universo plano (figura 1C).

Portanto, determinar a quantidade de matéria do universo é crucial para descobrirmos o nosso futuro.



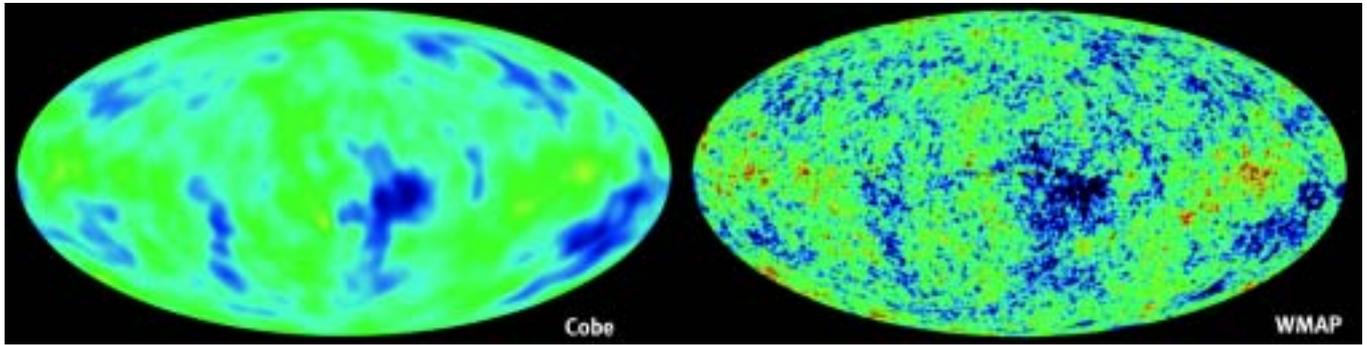
Impacto profundo

O instrumento Firas (sigla, em inglês, para Espectrômetro Absoluto no Infravermelho Distante), um dos experimentos que compunham o satélite Cobe (sigla, em inglês, para Explorador do Ruído de Fundo Cósmico), mostrado na figura 2, confirmou de forma espetacular, em 1990, que a RCFM realmente tem as propriedades previstas pela teoria – tecnicamente, diz-se que o espectro de energia da RCFM é semelhante àquele que seria emitido por um corpo negro perfeito (aquele que absorve toda e qualquer radiação que incide sobre ele) à temperatura de 2,7 K.

Na figura 3, vê-se que os dados coletados pelo Firas coincidem de modo muito preciso com a previsão do modelo cosmológico padrão. Esse resultado se tornou uma das mais fortes evidências a favor do *Big Bang* e indica que matéria e radiação, quando o universo era muito jovem, estavam em um estado de equilíbrio termodinâmico quase perfeito, ou seja, tinham ambos a mesma temperatura. Com a expansão do universo e o seu conseqüente resfriamento, a temperatura dessa radiação atingiu, hoje, aproximadamente 2,7 K (cerca de -270°C), conforme previa o modelo.

Outro resultado obtido pelo Cobe foi a descoberta de pequenas perturbações, da ordem de 10^{-5} K, na temperatura da RCFM. Essa detecção foi feita, em 1992, pelo experimento DMR (sigla, em inglês, para Radiômetro Diferencial de Microondas). Medir um sinal com intensidade tão baixa foi um dos maiores desafios astronômicos de todos os tempos. Essa descoberta teve um profundo impacto na cosmologia, pois revelou como era o universo há quase 14 bilhões de anos (figura 4A).

Figura 3. Espectro de radiação de um corpo negro perfeito à temperatura de 2,725 K comparado com dados obtidos pelo satélite Cobe para a radiação cósmica de fundo em microondas



COBE / WMAP / NASA

Figura 4. Em A, mapa da distribuição da radiação cósmica de fundo em microondas produzido pelo satélite Cobe em 1990. Em B, mesmo mapa obtido pela sonda WMAP, cerca de 11 anos mais tarde e com precisão 45 vezes superior à do Cobe

A sonda WMAP (sigla, em inglês, para Sonda Wilkinson de Anisotropia em Microondas), lançada em 2001, obteve mapas do céu com uma sensibilidade 45 vezes melhor que a do Cobe (figura 4B). Dessa forma, foi possível obter informações mais precisas ainda sobre o universo primordial.

Teoria da inflação

Apesar de o modelo do *Big Bang* explicar a recessão das galáxias, o espectro da RCFM e a abundância atualmente observada de elementos leves, ele apresenta problemas para justificar, por exemplo, por que o universo é tão homogêneo em grandes escalas, como se pode inferir da distribuição da RCFM.

Para resolver esses problemas, foi idealizada, entre o final da década de 1970 e início da década seguinte, a chamada teoria da inflação pelos norte-americanos Alan Guth, Paul Steinhardt e Andreas Albrecht, e mais tarde pelo russo Andrei Linde.

Eles apresentaram a idéia de um processo no qual o universo, em seus primórdios, teria passado por uma expansão extremamente rápida. Segundo essa teoria, a densidade atual do universo deveria ser muito próxima da densidade crítica – 10 átomos de hidrogênio por m^3 – e a sua geometria seria plana ($\Omega = 1$). Além disso, as flutuações primordiais de densidade seriam as mesmas em todas as direções em que se observasse o céu. Até agora, as observações têm corroborado essa teoria.

Efeito no horizonte

Como explicar que partes tão distantes do universo visível sejam banhadas por uma radiação de fundo com a mesma temperatura, ou seja, 2,7 K? Isso é uma forte evidência de que, em algum momento depois do *Big Bang*, matéria e partículas de radiação (fótons) estiveram em contato durante um tempo suficiente para que suas temperaturas se igualassem. Na verdade, sabemos que isso ocorreu

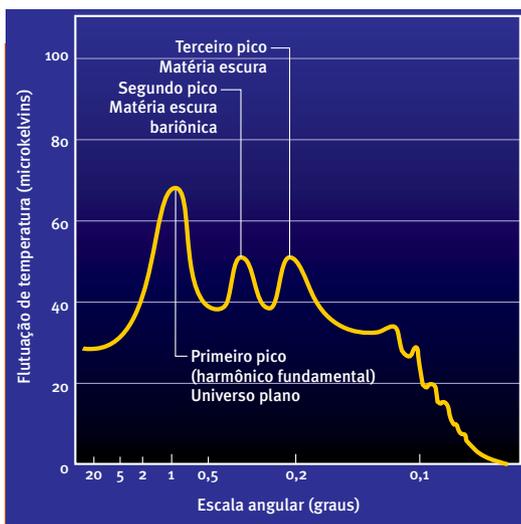


Figura 5. Espectro de potência das flutuações de temperatura da radiação cósmica de fundo em microondas

Os harmônicos do universo

Para podermos extrair informações dos mapas de flutuações de temperatura da radiação cósmica de fundo em microondas, precisamos compor um gráfico que represente a amplitude dessas flutuações em função da separação angular entre regiões do céu. Esse gráfico é conhecido como espectro de potência angular da RCFM (figura 5). Os picos são reflexos das oscilações que ocorreram no universo primordial, quando um tipo de mistura quentíssima de partículas, o chamado plasma primordial, composto por bárions (prótons e nêutrons) e radiação (fótons), oscilava em função da gravidade, que atraía os bárions, e da ação dos fótons, que ofereciam resistência a essa atração. A expansão do universo agia como um amortecedor dessa situação.

O primeiro pico desse gráfico representa o harmônico fundamental, que é a maior oscilação que poderia aparecer no fluido primordial, composto de matéria e radiação em altíssimas temperaturas. Os outros picos estão ligados

MASA/A. RIESS

até cerca de 370 mil anos depois do *Big Bang*.

Imagine uma antena que capte fótons da RCFM vindos de direções opostas do céu. Cálculos feitos a partir da teoria tradicional do *Big Bang* mostram que as fontes que geraram esses fótons – e, portanto, a RCFM – tiveram que, 370 mil anos depois da criação do universo, se afastar umas das outras com velocidade muito superior à da luz para explicar a isotropia da RCFM. No entanto, a teoria da relatividade nos garante que nada viaja mais rapidamente que a luz no vácuo (300 mil km/s). Então, como explicar esse tremendo afastamento entre as fontes geradoras da RCFM, hoje separadas por grandes distâncias no céu?

Para encontrar uma solução, a teoria da inflação propõe que o universo tenha começado incrivelmente pequeno e em equilíbrio térmico, ou seja, com uma temperatura extremamente uniforme. O processo de inflação teria estendido essa uniformidade para todo o universo observado hoje, ou seja, regiões ou objetos que, aparentemente, não estão em contato causal para poder entrar em equilíbrio térmico, na verdade já estiveram em contato antes do processo inflacionário, explicando essa isotropia da RCFM.

Vale ressaltar que não há nenhuma incompatibilidade entre a inflação e a teoria da relatividade. Esta determina que nenhum corpo – no caso, as fontes da RCFM – pode ultrapassar a velocidade da luz viajando no espaço. No entanto, não foram as fontes da RCFM que se afastaram com velocidades supraluminares viajando no espaço. O que se deu foi um ‘esticamento’ extremamente veloz do espaço-tempo logo no início do universo,

aos harmônicos, ou seja, ondas cuja frequência de oscilação são múltiplos inteiros do harmônico fundamental. Várias informações podem ser extraídas dessa representação: por exemplo, as posições dos picos no gráfico – ou seja, as escalas angulares que correspondem às maiores intensidades deles – nos dão informações sobre a curvatura do universo; a altura do segundo pico nos dá informações sobre a densidade de bárions do universo.

Podemos, com base no número, largura, altura e posição desses picos, determinar alguns dos parâmetros fundamentais do universo, como sua idade, composição e geometria. Os resultados de experimentos recentes, que observaram o céu com mais detalhes que o Cobe, permitiram inferir que o universo tem aproximadamente 14 bilhões de anos de idade, é composto por apenas 4% de bárions, possui uma grande quantidade de energia escura e é plano.



aproximadamente 10^{-35} segundo após o *Big Bang*.

Em resumo: quando acoplamos a teoria da inflação ao modelo do *Big Bang*, conseguimos explicar a isotropia da RCFM.

Expansão acelerada

Dados publicados em 1998 indicam que o universo não só está em expansão, mas também faz isso de modo acelerado. Foi uma surpresa – alguns classificaram essa descoberta como uma das mais importantes da cosmologia no final do século passado.

Por mais de 10 anos, astrofísicos mediram a distância e o brilho de supernovas do tipo Ia que aconteceram a grandes distâncias – supernovas do tipo Ia são explosões que acontecem no final da vida de estrelas anãs brancas que fazem parte de um sistema binário; elas liberam sempre a mesma quantidade de energia, o que faz delas uma excelente ferramenta de medida de distâncias no universo. No entanto, o brilho dessas supernovas não se mostra compatível com as estimativas de suas distâncias. Elas são menos brilhantes do que o esperado, o que indica que estariam a distâncias maiores.

Os pesquisadores concluíram, então, que a taxa de expansão do universo está aumentando, o que explicaria essas observações, e não diminuindo, como seria esperado caso apenas a gravidade atuasse para conter a expansão (figura 6). Esses resultados, juntamente com outras observações astronômicas,

Figura 6. Concepção artística da expansão acelerada do universo, descoberta por estudos divulgados há apenas sete anos

O céu em microondas

Vários grupos de pesquisa no mundo vêm colaborando com o esforço de entender o universo primordial e de estudar como as grandes estruturas que hoje observamos no céu (aglomerados e superaglomerados de galáxias, por exemplo) foram criadas. Para isso, são realizados experimentos que observam o céu em microondas.

No Brasil, os grupos de cosmologia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), em São José dos Campos (SP), e da Universidade Federal de Itajubá (Unifei), em Minas Gerais, também colaboram com esse esforço e já participaram da realização de experimentos que mediram essas microondas cósmicas, como o Hacme (sigla, em inglês, para Transistores de alta mobilidade eletrônica a bordo do Explorador Cósmico Avançado em microondas) e o Beast (sigla, em inglês, para Telescópio de Varredura das Anisotropias da Emissão

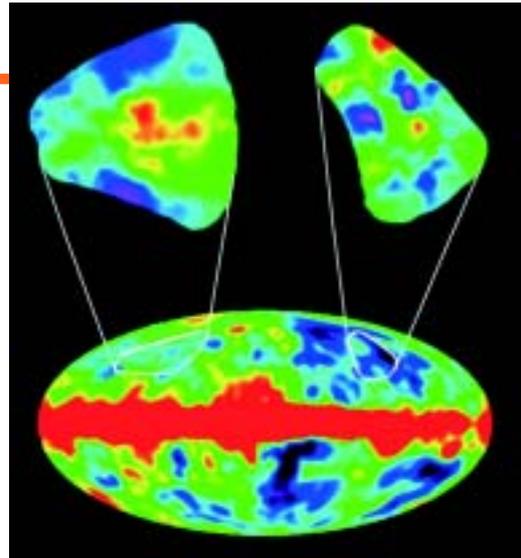
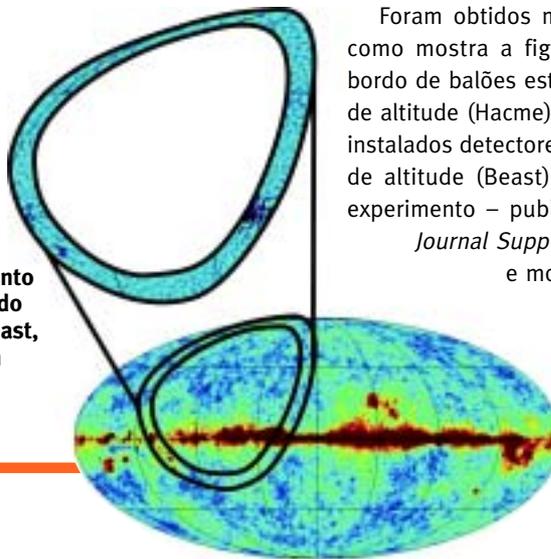


Figura 7. Abaixo, mapa da radiação cósmica de fundo em microondas feito a partir de dados coletados pelo Cobe. Acima, mapas – com precisão superior à do satélite norte-americano – de duas regiões do céu obtidos com o experimento Hacme, que teve a participação de uma equipe brasileira

de Fundo). Esses experimentos permitiram a produção de mapas bastante precisos da radiação cósmica de fundo em microondas (RCFM).

Foram obtidos mapas detalhados da RCFM – como mostra a figura 7 –, com observações a bordo de balões estratosféricos a cerca de 35 km de altitude (Hacme), e, mais recentemente, foram instalados detectores em uma montanha a 3,8 km de altitude (Beast). Os resultados deste último experimento – publicados em *The Astrophysical Journal Supplement Series* (vol. 158, 2005) e mostrados na figura 8 – indicam que o universo é plano, conforme previsão da teoria da inflação.

Figura 8. Mapa da radiação cósmica de fundo em microondas feito pela sonda WMAP. No ‘anel’ em destaque, mapeamento de região do céu obtido pelo experimento Beast, do qual participaram equipes do INPE e da Unifei



sugerem que o universo é permeado por uma forma estranha de energia que está sendo chamada de energia escura – em outras palavras, isso significa que a constante cosmológica proposta por Einstein em 1917 é diferente de zero, ou seja, existiria uma espécie de antigravidade em grandes escalas, fazendo com que os objetos cósmicos se afastem cada vez mais uns dos outros. Uma surpresa total! Se essas observações estiverem de fato corretas, o universo deve se expandir para sempre.

Estamos, atualmente, em uma situação muito parecida com aquela em que estávamos há 100 anos: precisamos de teorias e dados melhores que possam nos ajudar a entender o universo em que vivemos. Pelo que sabemos hoje, 95% do conteúdo do universo são componentes desconhecidos para nós, chamados de energia e matéria escuras. Isso mostra nossa grande ignorância sobre a natureza. Por outro lado, isso também nos mostra que precisamos ainda aprender muita física...

SUGESTÕES PARA LEITURA

- SILK, J. *O Big Bang – A origem do universo* (Editora UnB, Brasília, 1985).
- WEINBERG, S. *Os três primeiros minutos* (Gradiva, Lisboa, 1987).
- GUTH, A. H. *O universo inflacionário – Um retrato irresistível de uma das maiores idéias cosmológicas do século* (Editora Campus, Rio de Janeiro, 1997).
- VILLELA, T., FERREIRA, I e WUENSCHÉ, C. A. ‘Cosmologia observacional: a radiação cósmica de fundo em microondas’ in: *Revista USP* (Dossiê sobre cosmologia) (USP, n. 62, junho, julho e agosto de 2004).
- Na internet
<http://www.das.inpe.br/~cosmo/>
<http://astro.if.ufrgs.br/univ/univ.htm>