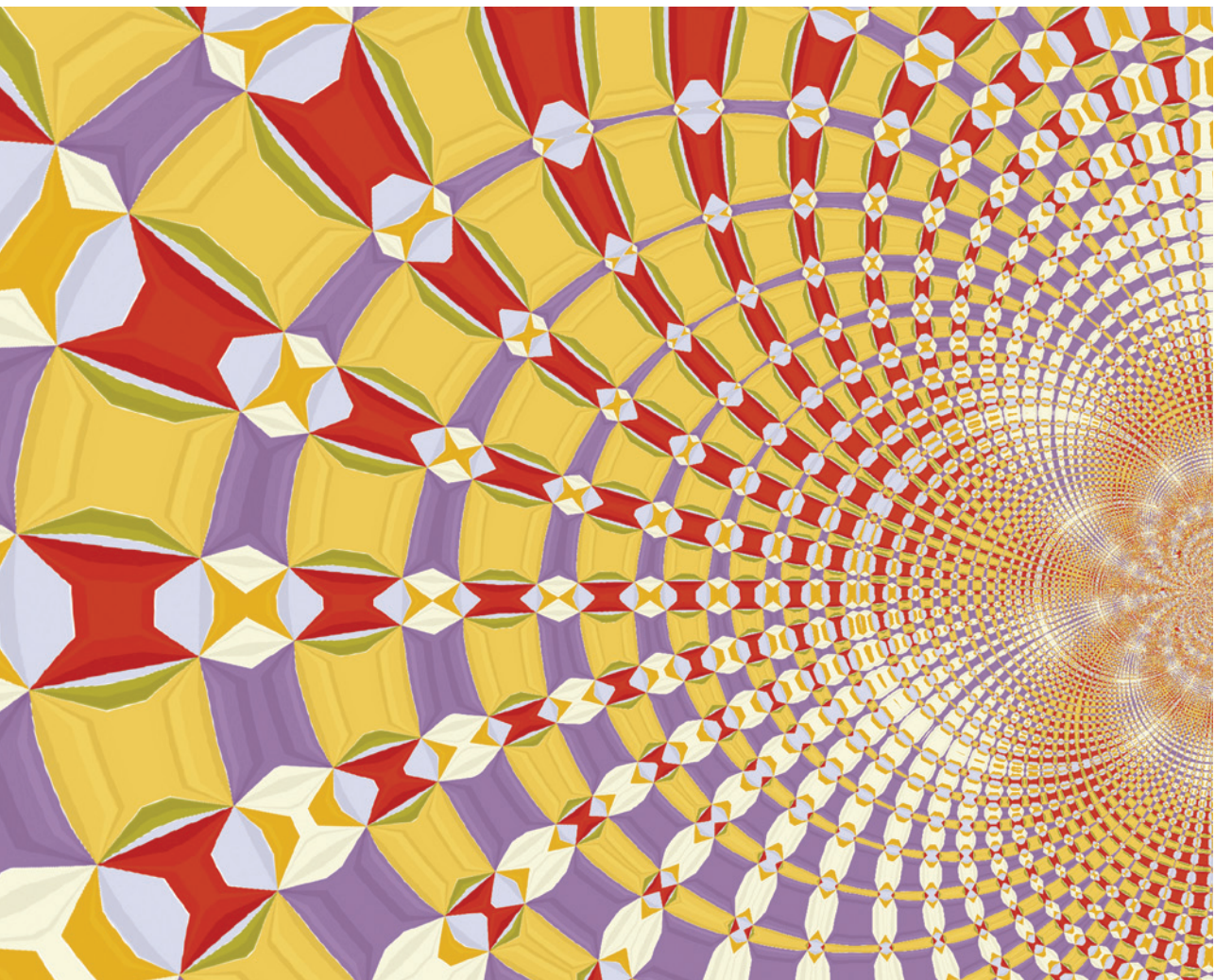




Cosmologia

A busca pela origem, evolução e estrutura do universo



Freqüentemente, os grandes avanços da ciência estão ligados ao desenvolvimento de novas técnicas experimentais de observação. A astronomia, por exemplo, muito se desenvolveu com a invenção dos telescópios, que possibilitaram enxergar melhor, mais longe, perscrutar a abóbada celeste e, assim, encontrar novos planetas, satélites e galáxias. Essas descobertas mudaram nossa imagem do universo, possibilitando-nos passar de uma visão divina para uma visão científica.

Coisa semelhante se dá hoje com a cosmologia, uma das áreas da ciência que mais se desenvolvem neste início de século. Esse avanço está sendo possível, em grande parte, com o desenvolvimento de potentes telescópios e sondas espaciais, especialmente construídos para examinar sinais vindos de todas as partes do universo, não somente na faixa da luz visível, mas também do infravermelho, das ondas de rádio e dos raios X.

Esses novos instrumentos de observação do universo estão permitindo testar modelos cosmológicos com precisão inédita. E, com isso, mostrar que a cosmologia é uma ciência possível de verificação experimental em muitos de seus aspectos.

- 96. | **COSMOGONIAS** | DE ONDE VIEMOS? | PEDRA FUNDAMENTAL
- 97. | **NASCIMENTO DA COSMOLOGIA** | PRIMEIRO MODELO
| UM TERMO EXTRA
- 99. | **ALÉM DA VIA LÁCTEA** | EXPANSÃO E CONTRAÇÃO
| DOIS PIONEIROS | PONTO INSIGNIFICANTE | COMO UM BALÃO DE FESTAS
- 101. | **MODELO DO BIG BANG** | ÁTOMO PRIMORDIAL
| ESTRONDO COLOSSAL | DOIS SIGNIFICADOS
- 103. | **ECO PRIMORDIAL** | RUÍDO TÊNUE | RADIAÇÃO DE FUNDO
- 104. | **BREVE HISTÓRIA DO UNIVERSO** | TRÊS PILARES
| TEORIAS ALTERNATIVAS | TEORIA DA INFLAÇÃO
| ALGUNS MOMENTOS DA HISTÓRIA DO UNIVERSO
- 106. | **DESDOBRAMENTOS RECENTES** | DIMINUTAS PERTURBAÇÕES
| REVOLUÇÃO CÓSMICA | MISTÉRIOS ESCUROS | DESTINO DO UNIVERSO
| A PRIMEIRA GERAÇÃO | CONFLITOS, DÚVIDAS E CERTEZAS



COSMOGONIAS

DE ONDE VIEMOS?

Não se sabe quando o homem iniciou seus questionamentos sobre o cosmo. Mas praticamente todos os povos e culturas têm suas versões para a origem do universo. Em algumas dessas cosmogonias, ele é criado por entidades sobre-humanas ou seres divinos. De certo modo, todas são respostas à talvez mais penetrante pergunta filosófica que o homem já fez a si mesmo: “De onde viemos?”

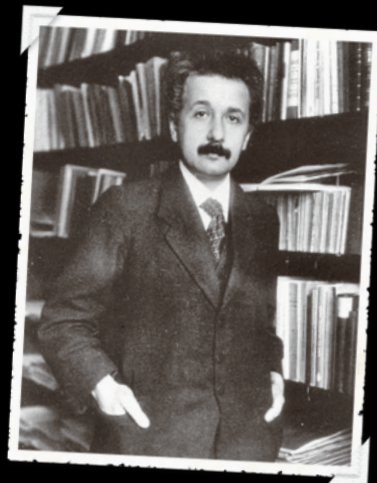
PEDRA FUNDAMENTAL

Apesar de a busca por respostas sobre o cosmo ter permeado praticamente toda a história do homem moderno, a cosmologia – definida como o estudo da origem, da evolução, do conteúdo e da estrutura do universo – é uma ciência recente, com pouco menos de 100 anos. Até o século 19, ela se entrelaçava, de modo quase indissociável, com a filosofia, a metafísica e a religião. Só conseguiu se desvencilhar dessas áreas e ganhar autonomia como um ramo da ciência em 1917. É aí que reside, para muitos historiadores da ciência, sua pedra fundamental.

NASCIMENTO DA COSMOLOGIA

PRIMEIRO MODELO

Em 1917, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) apresentou ao mundo o primeiro modelo cosmológico com base científica. Foi resultado da aplicação, ao universo como um todo, de sua teoria da relatividade geral, de 1915, que substituiria a gravitação do inglês Isaac Newton (1642-1727), ainda válida, para muitos propósitos, para velocidades bem menores que a da luz no vácuo (300 mil km/s) e campos gravitacionais fracos, como o da Terra. Na relatividade geral, as três dimensões espaciais (comprimento, altura e largura) formam um uno indissociável com a quarta dimensão, o tempo. Além disso, o chamado espaço-tempo pode ser comparado a um “tecido” elástico que se deforma na presença de corpos com massa ou, de forma mais genérica, na presença de energia. Essa noção geométrica substituiu o conceito newtoniano de uma força gravitacional que age a distância entre os corpos.

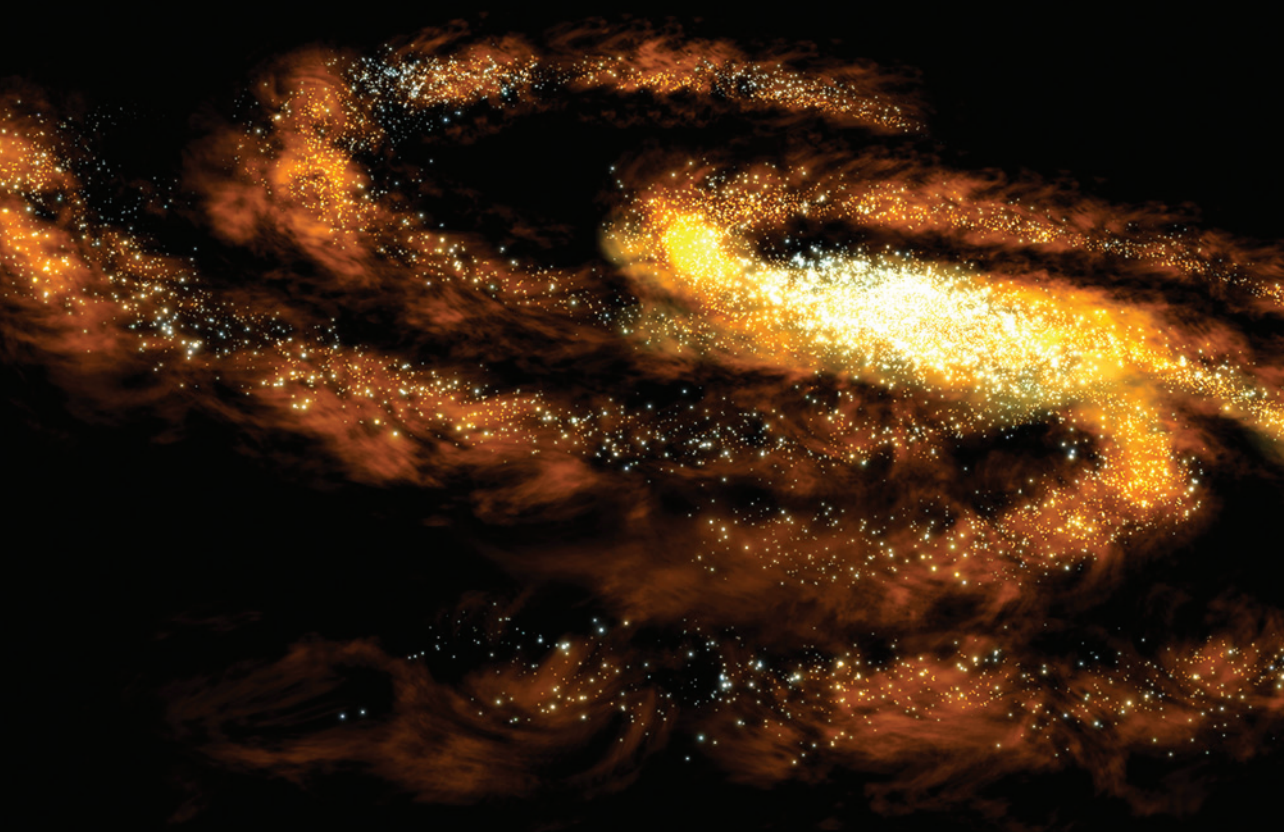


UM TERMO EXTRA

Einstein, partindo de uma idéia bela e matematicamente tratável – a de um universo finito (“esférico”) e ilimitado –, se viu forçado a “frear” o universo que brotava de seus cálculos, pois ele apresentava um comportamento dinâmico – por exemplo, expandia-se com o passar

NASA

do tempo. Na época, isso conflitava com a noção de universo, para o qual não havia evidências de mudança no tempo nem mesmo uma medida do tamanho. Para muitos, o cosmo então se reduzia ao que hoje sabemos ser a Via Láctea (galáxia que abriga o Sistema Solar). Para tornar o universo estático, Einstein incluiu em suas equações um termo extra cuja função era evitar que o universo colapsasse sob a ação da gravidade. A constante cosmológica, como o termo é hoje conhecido, pode ser comparada a uma antigravidade.



ALÉM DA VIA LÁCTEA

EXPANSÃO E CONTRAÇÃO

Foi só em 1922 e em 1924 que modelos de universo não estáticos chamaram a atenção da ainda incipiente comunidade de cosmólogos. Naqueles anos, o matemático russo Aleksandr Friedmann (1888-1925) apresentou universos que se expandiam ou se contraíam. Einstein, inicialmente, não gostou desses resultados. E chegou a escrever uma nota para uma revista científica alegando que Friedmann havia se enganado nos cálculos. Posteriormente, percebeu o próprio erro, aceitando os modelos.

DOIS PIONEIROS

Quando se fala de um universo em expansão, é preciso se lembrar dos trabalhos de pelo menos dois pioneiros: os norte-americanos Henrietta Leavitt (1868-1921) e Vesto Slipher (1875-1969). Em 1912, Leavitt, uma das primeiras mulheres astrônomas, mostrou que a variação periódica do brilho das estrelas cefeídas podia ser um método para medir distâncias acima de centenas de anos-luz (cada ano-luz equivale a 9,5 trilhões de km). Já Slipher, ainda em 1915, dispunha de dados que mostravam que galáxias – apesar de esses objetos celestes não serem então reconhecidos como tais – estavam se afastando da Terra com velocidades que variavam de 300km/s a 1.100km/s, o que indicava que elas poderiam ser objetos além da Via Láctea.

PONTO INSIGNIFICANTE

Em meados da década de 1920, o astrônomo norte-americano Edwin Hubble (1889-1953) empregou a luminosidade das cefeídas para medir a distância de uma classe de nebulosas. Ele chegou a uma conclusão surpreendente: essas “nuvens” estavam fora da Via Láctea. Com isso, as fronteiras do universo se alargaram. A Via Láctea, com seus bilhões de estrelas, não ocupava uma posição privilegiada nesse novo cenário cósmico. Éramos um ponto insignificante num vasto universo.

COMO UM BALÃO DE FESTAS

Em 1929, Hubble obteve a distância de dezenas de galáxias utilizando como padrão estrelas cefeídas e, com base em dados observacionais de Slipher, mostrou que a velocidade com que as galáxias se afastavam umas das outras era proporcional à distância entre elas, o que ocorre justamente num universo em expansão. A analogia mais usual para descrever esse fenômeno é a de um balão de festas sendo inflado, com as galáxias representando pontinhos pintados na superfície, porém é preciso lembrar que o universo, nesse caso, se restringiria apenas à superfície de borracha do balão. Assim, Hubble, talvez sem ter consciência do fato, descobriu a expansão do universo. Segundo o russo George Gamow (1904-1968), Einstein teria dito que a constante cosmológica havia sido o maior erro científico de sua vida. Mas a história, meio século depois, mostraria que esse termo ainda teria um papel a desempenhar na cosmologia.

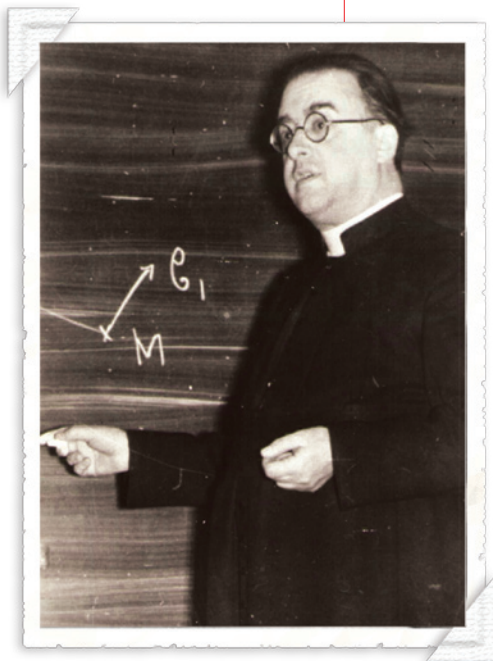
O MODELO DO BIG BANG

ÁTOMO PRIMORDIAL

Em 1927 – e independentemente de Friedmann –, o astrônomo e padre belga Georges Lemaître (1894-1966) chegou a resultados teóricos que mostravam um universo que se expandia. Porém, foi além. Alegou que, se as galáxias hoje se afastam, isso significa que, no passado, estiveram mais próximas. Lemaître conjecturou que toda a massa do universo esteve reunida num único ponto. Em 1933, ele deu a isso o nome de átomo primordial, que, para criar o universo, teria se partido em inúmeros pedaços.

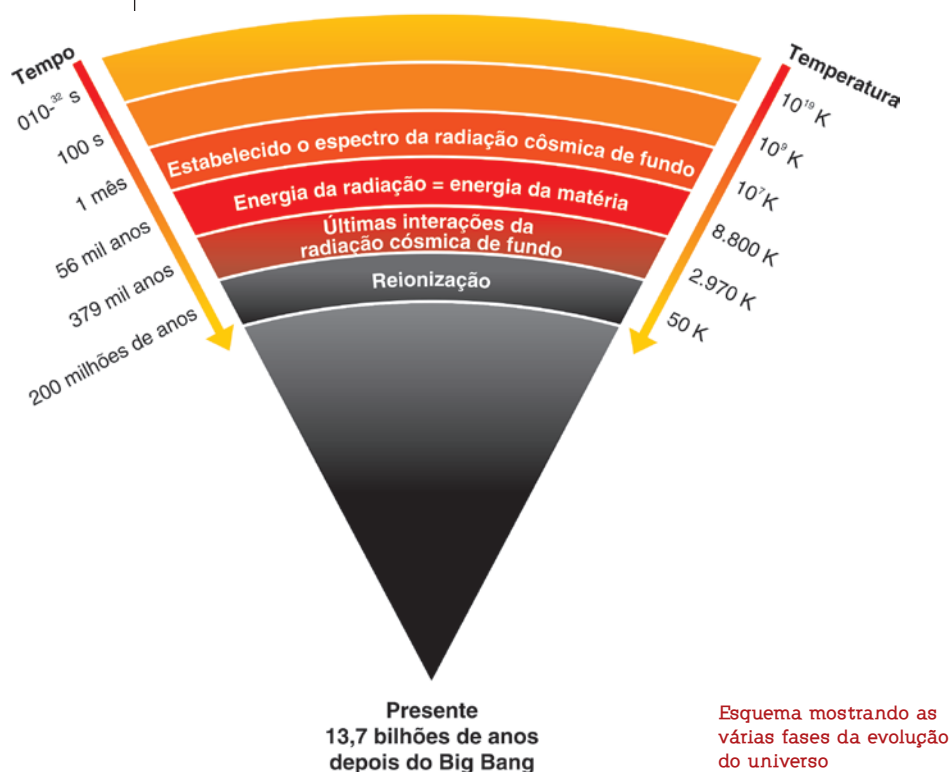
ESTRONDO COLOSSAL

A idéia de um universo que evoluiu de um estado impensavelmente condensado e quente da matéria não agradou a todos. Pejorativamente, o modelo foi denominado Big Bang (grande estrondo), em 1949, por um de seus mais ferrenhos opositores, o cosmólogo britânico Fred Hoyle (1915-2001), numa entrevista para uma rádio. Ironicamente, o nome se tornou popular, passando, desde então, a se referir ao modelo.



DOIS SIGNIFICADOS

Quando se fala de Big Bang, é preciso distinguir entre dois significados para o termo. No primeiro, aceito pela ampla maioria dos cosmólogos e sustentado em sólidas bases observacionais, o universo está em expansão e passou por uma fase extremamente quente no passado. Esse modelo é baseado na relatividade geral, bem como no que se conhece hoje sobre a interação entre as partículas subatômicas, ambas teorias bastante testadas. No segundo, o universo teve um início bem definido no tempo, e houve uma “singularidade” (concentração infinita de matéria), onde a física perde o seu sentido. Nesse modelo, juntamente com o nascimento do universo, teriam surgido o espaço e o tempo. Como é baseado numa extrapolação da física conhecida para escalas de energia totalmente inatingíveis neste momento, ele não tem uma base firme e ainda é assunto de intenso debate.



ECO PRIMORDIAL

RUÍDO TÊNUE

O modelo do Big Bang chegou à década de 1960 sob críticas severas. Faltava ainda a ele uma comprovação observacional de peso. E isso se deu em 1964, quando, por acaso, os físicos norte-americanos Arno Penzias e Robert Wilson, pesquisadores dos Laboratórios Bell (Estados Unidos), detectaram, com o auxílio de uma antena de rádio, um “ruído” extremamente tênue, porém persistente, em todas as direções do céu. Quatro outros físicos norte-americanos, Robert Dicke (1916-1997), James Peebles, Peter Roll e David Wilkinson (1935-2002), que se preparavam para tentar medir a mesma radiação, logo perceberam do que se tratava: um “eco” do Big Bang.

RADIAÇÃO DE FUNDO

A radiação cósmica de fundo havia sido prevista ainda em 1948 por Gamow, Ralph Alpher e Robert Herman (1914-1997) como um resquício de uma fase extremamente quente pela qual passou o universo, um “eco” de uma época em que as partículas de luz (fótons) passaram a viajar livremente, sem interagir com a matéria. Essa radiação fóssil tem hoje a temperatura de 2,725 kelvin (cerca de 270 graus celsius negativos) e é um “retrato” do universo 380 mil anos depois do Big Bang. Penzias e Wilson ganharam o Nobel de física de 1978 pela descoberta, mas o prêmio injustamente esqueceu a primazia das idéias de Gamow, Alpher e Herman.

BREVE HISTÓRIA DO UNIVERSO

TRÊS PILARES

A descoberta da radiação cósmica de fundo deu extremo vigor científico ao modelo do Big Bang, que já contava com mais dois pilares a seu favor: explicava tanto a expansão do universo quanto a abundância atual dos elementos químicos leves (hidrogênio, deutério, hélio e lítio). Porém, mesmo sustentado por três colunas robustas, o modelo não estava isento de problemas.

TEORIAS ALTERNATIVAS

Várias teorias alternativas ao Big Bang foram propostas. A que ganhou mais repercussão foi a chamada teoria do estado estacionário, segundo a qual o universo não teve início ou fim, mas sempre existiu no tempo, daí o nome do modelo. Para explicar a expansão do universo, seus três idealizadores – Hoyle e os austríacos Thomas Gold (1920-2004) e Herman Bondi (1919-2005) – alegavam que havia criação contínua de matéria no universo. Há hoje outros modelos propostos e estudados por cosmólogos e que podem ser divididos em duas classes: aqueles em que há um início bem definido para o universo e os sem início, em que o universo é eterno.

TEORIA DA INFLAÇÃO

Um dos problemas com o modelo do Big Bang era explicar por que a temperatura da radiação de fundo é praticamente a mesma em qualquer direção do espaço. Uma maneira de

justificar essa homogeneidade é imaginar que o universo, ainda muito quente e denso, tenha se expandido violentamente por um curtíssimo período de sua história. Essa é basicamente a propriedade que norteia a chamada teoria inflacionária, idealizada por pesquisadores russos e norte-americanos na década de 1970. Segundo ela, entre 10^{-35} s e 10^{-32} s de vida, o universo se expandiu exponencialmente. Esse mecanismo inflacionário fez com que regiões do céu hoje muito separadas tivessem estado em contato no passado, o que teria permitido que tivessem trocado calor e igualado suas temperaturas. Além disso, um dos grandes sucessos da teoria da inflação foi prever, por exemplo, a geometria do espaço como quase plana e as propriedades das diminutas flutuações na temperatura da radiação cósmica de fundo. Essas previsões foram recentemente confirmadas por dados coletados por experimentos a bordo de sondas espaciais, em balões e no solo.

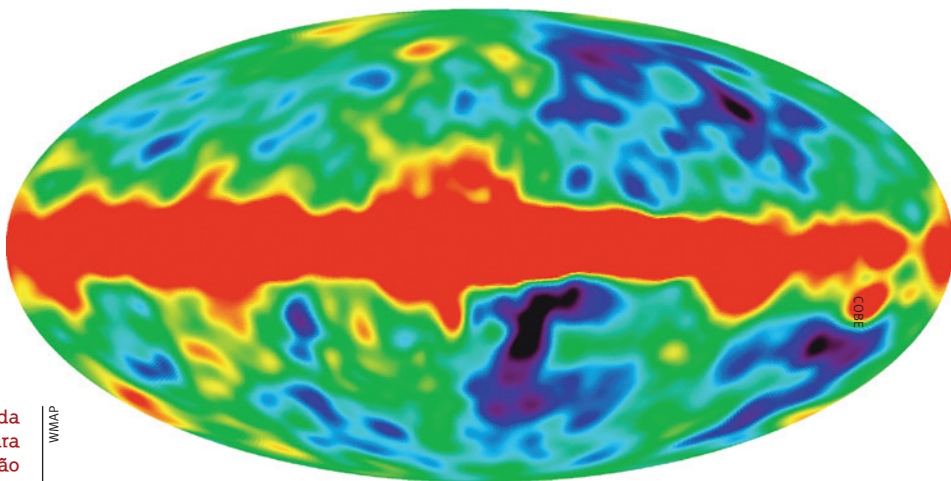
ALGUNS MOMENTOS DA HISTÓRIA DO UNIVERSO

Há hoje vários modelos para o que ocorreu nos primórdios do universo. Porém, o modelo do Big Bang, acoplado ao cenário inflacionário, tem obtido excelente respaldo observacional. Com base nesse modelo, é possível contar – com alguns números que ainda carregam grandes incertezas – alguns dos principais momentos da história de 13,7 bilhões de anos do universo (ver quadro abaixo).

Evidências indiretas e cenário baseado em física desconhecida	• 10^{-43} s: era de Planck • 10^{-35} s: universo se expande violentamente (era da inflação) • 10^{-32} s: fim da inflação.
Evidências indiretas, mas cenário baseado em física conhecida	• 10^{-10} s: o universo se torna uma sopa quentíssima de radiação e partículas elementares (quarks, glúons, elétrons, fótons, neutrinos etc.) • 10^{-4} s: formam-se mésons (um quark e um antiquark) e bárions (três quarks)
Evidências observacionais mais diretas	• 10^2 s: prótons e nêutrons, ambos bárions, formam núcleos de átomos leves • 380 mil anos: formam-se os primeiros átomos (núcleo mais elétrons), e os fótons da radiação cósmica de fundo passam a caminhar livremente, tornando o universo transparente • 200 milhões de anos: formam-se as primeiras estrelas e galáxias • 9 bilhões de anos: formação do Sistema Solar • 10 bilhões de anos depois do Big Bang: início da vida na Terra.

Mapa da
temperatura
da radiação
de fundo
obtido pelo
COBE

WMAP



DESDOBRAMENTOS RECENTES

DIMINUTAS PERTURBAÇÕES

O satélite COBE (sigla, em inglês, para Explorador do Ruído Cósmico) é considerado por muitos o mais importante experimento da cosmologia. Seus dados, divulgados no início da década de 1990, ajudaram a determinar com precisão a temperatura da radiação cósmica de fundo e a detectar, pela primeira vez, a existência de diminutas perturbações – da ordem de centésimos de milésimos de kelvin (10^{-5} kelvin) – na temperatura dessa radiação. Essas flutuações foram essenciais para se compreender como ocorreu o processo de formação das grandes estruturas no universo (aglomerados de galáxias, grandes filamentos, paredes e vazios).

REVOLUÇÃO CÓSMICA

Em 1998, ocorreu uma das descobertas mais marcantes da cosmologia do século passado. Dados coletados sobre a luminosidade de supernovas (estrelas que explodem ao final de suas vidas) permitiram concluir que o universo não só se

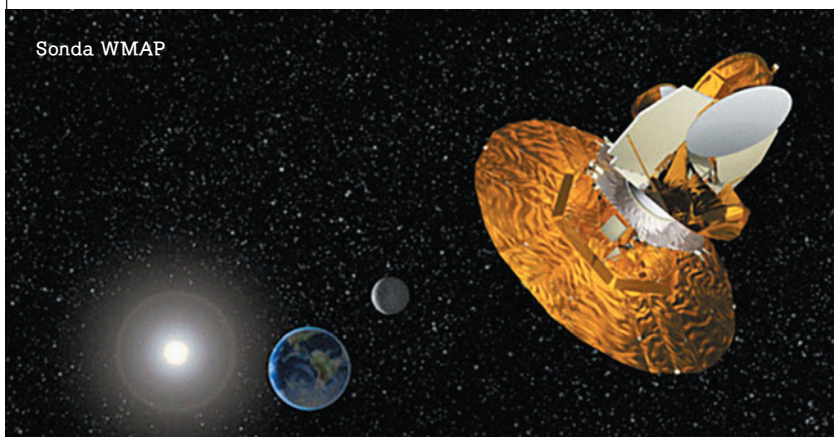
expande, mas faz isso de forma acelerada. A descoberta foi classificada como uma revolução. Porém, o que estaria causando essa aceleração inesperada? O candidato mais cotado para explicá-la é a constante cosmológica, de Einstein, que age como uma antigravidade. Outro muito popular é a chamada energia escura, cujo posto está sendo disputado, entre outros concorrentes, pela própria constante cosmológica – pois ela pode ser pensada como mais um tipo de matéria que forma o universo – ou pela quintessência, uma forma exótica de energia com ação gravitacional repulsiva, cuja densidade varia com o tempo. Porém, um problema: se a constante cosmológica estiver associada à energia do vácuo – como muitos físicos acreditam –, há uma tremenda discrepância entre a previsão teórica de sua densidade e aquela observada no universo. Para se ter uma idéia, essa diferença é da ordem de 10^{120} (1 seguido de 120 zeros!), considerada a maior entre teoria e observação da história da ciência.

MISTÉRIOS ESCUROS

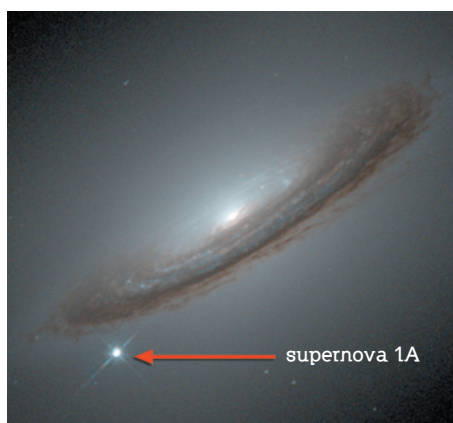
Em 2003, a WMAP (sigla, em inglês, para Sonda Wilkinson de Anisotropia em Microondas) obteve mapas do céu com definição 45 vezes superior à do COBE e possibilitou, com a ajuda de dados de outros experimentos, o cálculo da idade

WMAP

Sonda WMAP



NASA



do universo (13,7 bilhões de anos) e sua composição atual: cerca de 73% de energia escura, 23% de matéria escura e apenas 4% de matéria normal (“bariônica”). Desconhece-se a natureza dos dois primeiros e principais ingredientes, apesar de a matéria escura já ter sido

apontada como um componente dos aglomerados de galáxias ainda em 1932 pelo astrônomo suíço Fritz Zwicky (1898-1974).

DESTINO DO UNIVERSO

Na maioria dos modelos atuais, é a energia escura que dita o destino do universo. Numa visão moderna, há três destinos para o universo: i) ele cessa a expansão, pára e passa a colapsar, fenômeno denominado Big Crunch (Grande Esmagamento); ii) caso a energia escura seja mais ou menos constante, ele continua a se acelerar para sempre, tendo um fim gelado e escuro; e iii) sofre uma expansão acelerada tão violenta que “rasgaria” até os átomos, cenário denominado Big Rip (Grande Rasgo).

A PRIMEIRA GERAÇÃO

Somos a primeira geração a ter um modelo científico do universo. E, por isso, devemos nos sentir privilegiados. O modelo padrão da cosmologia (Big Bang mais inflação) tem sido verificado com precisão cada vez maior pelas observações astronômicas, graças aos novos telescópios e sondas – por sinal, o desenvolvimento desses e de outros equipamentos ligados à pesquisa em cosmologia aprimorou, por exemplo, sistemas atuais de comunicações por microondas. O Big

Bang tem fragilidades e lacunas fundamentais, mas é testável – daí vem sua força – e tem descrito bastante bem o universo observado. Dados astronômicos parecem corroborar a teoria dos dias de hoje até 380 mil anos depois do “nascimento” do universo. Para tempos anteriores, extrapolações nos permitem ter idéia de vários cenários possíveis.

CONFLITOS, DÚVIDAS E CERTEZAS

A física por volta da época da inflação é ainda desconhecida. Para entender o universo primordial, os físicos buscam a unificação dos fenômenos gravitacionais, regidos pela teoria da relatividade geral, e daqueles do microuniverso dos átomos e suas partículas, domínio da teoria quântica. É uma tarefa difícil. Além dos questionamentos sobre os primórdios do universo, a descoberta da expansão acelerada levantou perguntas extremamente excitantes e que deram novo fôlego à cosmologia. Será que esses desafios do macrocosmo nos levarão a uma nova física? São tempos de conflitos e dúvidas, mas também de várias certezas. São tempos de extremo entusiasmo para os cosmólogos e também para a humanidade. Ou, afinal, o leitor consegue pensar em perguntas mais instigantes e profundas do que “De onde viemos? Para onde vamos?”

O telescópio SOAR

