

# A ORIGEM DO UNIVERSO

Onde estavas tu quando lancei os alicerces da Terra? Declara-o, se tens entendimento!  
*Iavé, a J6*

Quem realmente sabe?

*Rig-Veda*

A especulação sobre a origem do universo é uma antiga e notória atividade humana. Antiga, suponho, porque não há certidão de nascimento para a espécie humana: somos obrigados a investigar nós mesmos as nossas origens, e, ao fazê-lo, vimos ser necessário procurar conhecer também a origem do mundo mais amplo do qual somos parte. Notória, porque as especulações cosmogônicas que disso resultaram nos dizem mais sobre nós mesmos do que sobre o universo que pretendiam descrever. Todas, até certo ponto, eram projeções psicológicas, padrões projetados pela mente aos céus, como sombras oscilantes de um fogo-fátuo.

Os mitos pré-científicos sobre a criação dependiam, para sua sobrevivência, menos de sua concordância com os dados da observação (que eram muito poucos, de qualquer modo) do que das proporções em que eram satisfatórios, ou tranquilizadores ou poeticamente válidos. Estimadas como criações nossas, essas histórias enfatizavam o que era mais importante para as sociedades que as preservavam. Os sumérios, que viviam numa confluência de rios, imaginavam terem as criaturas resultado do que equivalia a uma luta na lama entre os deuses. (De um torrão projetada, congelou-se a Terra.) Os maias, preocupados com o jogo da bola, conjecturaram que seu criador era transformado numa bola cada vez que o planeta Vênus desaparecia atrás do Sol. Pescadores taitianos falavam num deus pescador que tirou suas ilhas do leito do mar; os espadachins japoneses formaram as *suas* ilhas das gotas de sangue que escorriam de uma es-

pada cósmica. Para os gregos amantes da lógica, a criação era elementar: segundo Tales de Mileto, o universo era originalmente água; para Anaxímenes (também de Mileto), era ar; para Heráclito, fogo. Nas fecundas ilhas do Havaí, a gênese ficava a cargo de um grupo de espíritos hábeis em embriologia e desenvolvimento infantil. Os boximanes africanos amontoavam-se à volta do fogo para ver as fagulhas subirem ao céu noturno e recitar estas palavras:

A moça acordou; ela colocou as mãos nas cinzas da madeira; ela jogou as cinzas para o céu. Ela disse: "As cinzas da madeira devem transformar-se na Via Láctea. Devem estender-se, brancas, ao longo do céu, para que as estrelas possam ficar fora da Via Láctea e a Via Láctea ser ela mesma, embora antes fosse cinza de madeira."<sup>1</sup>

O advento da ciência e tecnologia provocou uma melhoria na sofisticação da teorização cosmológica — pelos menos em relação ao que havia antes delas, se não em relação à dura realidade (se tal coisa existe) do grande abismo cósmico (se há um cosmos). Mas a ciência não conseguiu libertar a questão da criação de suas ligações com os pressupostos e os desejos humanos. A questão de como o universo começou é, na melhor hipótese, elusiva, e quando a perseguimos, com nossas aljavas cheias de *quarks* e léptons e tensores de espaço curvo e probabilidades quânticas, temos uma justificativa para a nossa audácia que só marginalmente é melhor do que a usada pelos visionários taitianos que imaginavam ser possível Deus jogar seu anzol e pegar não um peixe, mas uma ilha de esmeralda. Muitos cientistas compreenderam isso muito bem e, em consequência, não se interessaram pela cosmogonia, o estudo da origem do universo. Outros o deixaram de lado simplesmente porque não viam nenhuma maneira prática de abordá-lo. Outros ainda, aderindo à doutrina da causação, baniram a questão de uma causa primeira para um exílio além da ciência. Como disse o astrônomo Allan Sandage:

Se houve um ato de criação, tinha de ter uma causa. Era essa toda a questão de Aquino, uma das cinco maneiras pelas quais ele estabelecida a existência de Deus. Se pudermos encontrar o primeiro efeito, teremos pelo menos nos aproximado da primeira causa, e se encontramos a primeira causa, para ele teria de ser Deus. O que dizem os astrônomos? Como astrônomos, não podemos dizer nada exceto que aqui há um milagre, algo que parece quase sobrenatural, um evento que atravessou o horizonte para a ciência, através do *big bang*. Será possível seguir outro caminho, dar a volta à barreira e encontrar finalmente a resposta à pergunta por que há alguma coisa em lugar de nada? Não, não se pode, não dentro da ciência. Mas continua havendo um mistério incrível: por que há alguma coisa em lugar de nada?<sup>2</sup>

Apesar dessas reservas, uns poucos cientistas tentaram investigar a questão de como poderia ter-se originado o universo, embora reconhecendo que seus esforços eram provavelmente "prematurados", como disse Weinberg, moderadamente. Na melhor hipótese, se visto com um olhar encorajador, seu trabalho parecia acender uma lâmpada nas ante-salas da gênese. O que iluminaram ali era muito estranho, mas de algum modo encorajador: dificilmente poderíamos encontrar algo familiar nas fontes da criação.

Duas de suas hipóteses — uma chamada de gênese do vácuo, a outra de gênese quântica — parecem ser as que melhor indicam o que o futuro próximo poderia encerrar para o conhecimento humano da origem do universo.

Primeiro a gênese do vácuo. O problema central da cosmogonia é explicar como alguma coisa veio do nada. Por "alguma coisa" queremos dizer a totalidade da matéria e energia, espaço e tempo — o universo que habitamos. A questão do que se deva entender por "nada", porém, é mais sutil. Na ciência clássica, "nada" era o vácuo, o espaço vazio que existe entre partículas de matéria. Essa concepção, porém, encerrou sempre problemas, como se pode ver pela longa indagação sobre se o espaço estava cheio de éter, e de qualquer modo não sobreviveu por muito tempo ao advento da física quântica.

O vácuo quântico não está nunca realmente vazio, e sim impregnado de partículas "virtuais". As partículas virtuais representam a possibilidade, delimitada pelo princípio de indeterminação de Heisenberg, de que uma partícula "real" chegue a um determinado momento e lugar: como as silhuetas que aparecem subitamente num campo de exercício de tiro da polícia, que representam não só o que é, mas o que *poderia* ser. No entender da física quântica, toda partícula "real" é cercada por uma coroa de partículas virtuais e antipartículas que espocam do vácuo, interagem umas com as outras e depois desaparecem, tendo vivido num tempo emprestado, o tempo de Heisenberg. ("Criada e aniquilada, criada e aniquilada — que perda de tempo", comentou Richard Feynman.)<sup>3</sup> Um próton livre, digamos, não está sozinho em suas viagens, mas sim cercado de uma coroa de prótons virtuais, cuja existência influencia o seu comportamento de maneiras não observáveis, mas na verdade fundamentais às interações do próton, tal como as conhecemos. Um exemplo da realidade das partículas virtuais está no fato de que as estrelas brilham: voltando pela última vez à barreira de Coulomb, é a estrutura das nuvens de partículas virtuais que cercam os prótons que torna possível a estes, nos centros das estrelas, atravessar os respectivos campos elétricos com a frequência necessária para que a fusão nuclear se mantenha.

O vácuo quântico, portanto, é um oceano trepidante, do qual emergem constantemente partículas virtuais, e no qual afundam constantemente. E isso não é uma simples abstração, mas uma realidade prática. Como disse o físico norte-americano Charles Misner.

Há uma indústria de um bilhão de dólares — a indústria da TV — que não faz outra coisa senão produzir no espaço vazio potencialidades para os elétrons, nelas se inserindo, realizarem algum movimento. Um vácuo tão rico de potencialidades comercializáveis não pode ser adequadamente chamado de vazio; é, na realidade, um éter.<sup>4</sup>

As regras que governam a breve existência das partículas virtuais são fixadas pelo princípio de incerteza e pela lei da conservação da matéria e energia. Elas estipulam a frequência provável com a qual as partículas virtuais de uma determinada massa podem ser produzidas, e o tempo que cada uma pode saltitar antes de voltar à não-existência, é determinado pelo potencial de energia do vácuo. Num ambiente de baixa energia, partículas de grande massa, como os



bósons W e Z, não podem tomar emprestado energia suficiente para existir em qualquer quantidade, por qualquer tempo perceptível: é por isso que não encontramos, normalmente, esses bósons na natureza de hoje, e que foi necessário gastar milhões de dólares no acelerador do CEPN até que ele pudesse injetar no vácuo energia suficiente para fazer uns poucos Ws aparecerem e sobreviverem o tempo suficiente para colocar em ação o detector de Carlo Rubbia. No início do universo, porém, teria havido no vácuo energia ambiente adequada para que os bósons W e Z surgissem a todo instante; é essa a base histórica para a afirmação da teoria eletrofraca, de que esses bósons existiam em grandes números quando o universo era jovem e controlavam a vida da força unificada eletrofraca.

O que tem isso a ver com a origem do universo? Talvez pouco, ou nada. Ou talvez, segundo a hipótese da gênese do vácuo, tudo.

Os protocolos que governam a produção de partículas virtuais estão, detalhadamente, em aberto, pois não impõem limites superiores absolutos às massas ou ao tempo de vida das partículas que podem ser criadas do vácuo. As leis da ciência conhecidas permitem-nos deduzir o potencial de energia do vácuo observando o índice de produção de partículas, mas não fixam um teto à energia que um determinado vácuo poderia conter. Um vácuo que não parecia nada promissor pode subitamente dar origem a uma partícula com tanta massa quanto um planeta. Isso é altamente improvável, mas não impossível. A gênese, é claro, pode ser muito improvável — basta que tenha acontecido uma vez — e é por esse buraco de fechadura que a hipótese da gênese do vácuo entrou nos salões da ciência. Sua tese é que todo o universo originou-se como uma única partícula virtual, de massa extraordinária, que saltou de um vácuo há bilhões de anos sem ser chamada.

O primeiro físico a pensar na gênese do vácuo foi Edward Tryon. Modesto mensageiro de hipótese tão espantosa, Tryon se tinha formado com Phi Beta Kappa em Cornell e obtido o seu Ph.D. com Weinberg em Berkeley, mas era apenas professor-assistente na Universidade de Colúmbia, e seu rosto não parecia destinado a ornamentar nenhum Mount Rushmore científico. Certa tarde de outono, no semestre acadêmico de 1969, o professor-assistente Tryon estava assistindo a um seminário dirigido pelo conceituado cosmólogo inglês Dennis Sciama. Como acontece com todos em certos momentos, Tryon distraiu-se em devaneios, a certa altura da palestra. Seus pensamentos vagaram pelo fervilhante vácuo quântico e pelas partículas virtuais que dele surgem. De repente, foi tomado por uma idéia, e espantou-se ao ouvir-se interromper a conferência de Sciama. "Talvez o *universo* seja uma flutuação do vácuo", exclamou.

Os colegas de Tryon riram, pensando tratar-se de uma piada. "Eles acharam muita graça", recordou-se Tryon, mais de uma década depois, parecendo que a recordação ainda lhe era penosa. "Fiquei muito constrangido... Nunca lhes disse que não estava brincando."

Despretensioso, Tryon procurou esquecer a idéia, mas esta lhe voltou com toda força três anos depois, numa noite em que estava sentado tranqüilamente em casa. "Tive uma revelação", lembrou ele, corando. "Visualizei o universo irrompendo do nada como uma flutuação quântica e compreendi que isso era possível e que explicava a densidade crítica do universo. Compreendi tudo isso num instante, e um calafrio me percorreu o corpo."

No norte magnético da especulação de Tryon estava a compreensão de que o conteúdo geral de energia do universo bem podia ser zero. É certo que quando se soma a energia liberada pelo *big bang* e pela luz estelar, mais a energia congelada que chamamos de matéria e imobilizada nas estrelas e planetas, o total é uma enorme soma positiva. Mas há também a gravitação que, sendo puramente atrativa, pertence à coluna do déficit da contabilidade. (A gravidade era a especialidade de Tryon.) É interessante notar que o potencial gravitacional da Terra, ou de qualquer outro objeto, é aproximadamente igual ao seu conteúdo de energia total calculado por intermédio de  $E = mc^2$ . Se isso fosse verdade para o universo como um todo, então o universo não teria nenhuma energia líquida positiva, e poderia ter saído de um vácuo sem violar a lei de conservação da energia.

Mas será verdade que o universo tem uma energia líquida de zero? A resposta, como Tryon compreendeu, podia ser encontrada no índice em que a expansão cósmica se está reduzindo. O universo continua a expandir-se devido ao ímpeto gerado pelo *big bang*. O índice de expansão, porém, está diminuindo com o tempo, devido à atração gravitacional exercida mutuamente pelas galáxias. O índice de redução revela, portanto, a densidade da massa geral do universo, uma quantidade que os cosmólogos simbolizam pela letra grega ômega. Se ômega é igual a, ou menos de 1, a densidade de massa é insuficiente para deter a expansão, e o universo continuará a expandir-se para sempre. Geometricamente, tal universo é descrito como "aberto", significando isso que a curvatura geral do espaço é hiperbólica. Se ômega é mais de 1, a expansão acabará, e o universo presumivelmente colapsará em outra bola de fogo. Se ômega for exatamente 1, então a expansão continuará para sempre, e sempre diminuindo, mas sem chegar nunca a parar totalmente.

A especulação de Tryon exigia que ômega fosse igual ou inferior a 1. Estranhamente, ômega parece ser exatamente (ou quase exatamente) igual a 1. Na verdade, a razão pela qual os cosmólogos observacionais, como Sandage e Tammann, foram incapazes de determinar conclusivamente se o universo é aberto ou fechado foi precisamente por estar ele equilibrado em, ou próximo de, um ômega de unidade de valor. O espaço cósmico, em outras palavras, não está dramaticamente aberto, nem dramaticamente fechado, mas é perfeitamente — ou quase perfeitamente — chato.

Isso é espantoso. As características gerais do universo de hoje dependem, em muito, de variações mínimas do universo inicial — tal como, digamos, a variação de milímetros no ângulo em que o bastão atinge uma bola de beisebol pode produzir variações de metros no local em que ela cai. No modelo padrão do *big bang*, para que o universo seja chato hoje, ele deveria ser incrivelmente chato no início. Em um segundo DIT a densidade da matéria cósmica deveria ter caído a um trilionésimo de 1% do valor crítico. A  $10^{-33}$  de segundo o desvio permitido devia ter sido ainda menor — menos de uma parte em  $10^{49}$ . Se isso aconteceu por mero acaso, foi realmente uma grande sorte: as possibilidades em contrário são ínfimas.

Seria possível, decerto, fazer com que as equações dessem certo inserindo a densidade de matéria necessária como uma "condição inicial", mas isso equivaleria a invocar a mão orientadora de Deus, o que em ciência é como jogar tê-



nis sem a rede.\* Alternativamente, seria possível explicar a "chatura" do universo identificando-a como uma condição preliminar da existência humana. Esse argumento, chamado de princípio antrópico, é o seguinte: se a densidade da matéria cósmica fosse apenas ligeiramente maior, o universo teria parado de expandir-se e teria colapsado antes que transcorresse tempo suficiente para que estrelas, planetas e vida se formassem; se fosse apenas ligeiramente menor, o universo se teria expandido de depressa demais para que estrelas e planetas se tivessem congelado a partir do gás primordial que se rarefazia rapidamente. Portanto, continua o argumento, o fato de estarmos aqui determina certos parâmetros cosmológicos, entre eles o valor de  $\omega$ . O princípio antrópico "explica" o milagre do universo plano se imaginarmos a criação de muitos universos, dos quais apenas uma fração tinha, por acaso, os valores necessários para que a vida surgisse neles. Mas a explicação não pode ser testada a menos que se comprove a criação de outros universos, o que bem pode ser impossível por definição. Nesse sentido, o princípio antrópico é um beco sem saída. O físico inglês Stephen Hawking, cujo trabalho é considerado como uma contribuição para a formulação do princípio, chamou-o, não obstante, de "um conselho do desespero".<sup>7</sup>

Mas onde há enigma há também a promessa de descoberta: um paradoxo pode indicar uma inadequação na maneira de enfocar a questão, sugerindo com isso uma maneira nova e mais proveitosa de abordá-la. Creio ter sido isso o que Bohr quis dizer ao exclamar: "Que bom que encontramos um paradoxo. Agora temos alguma esperança de progresso."<sup>8</sup> Foi dentro desse espírito que a questão do achatamento do universo foi solucionada, com a invenção de uma nova hipótese cosmológica, o universo inflacionário.

A hipótese da inflação foi proposta primeiro por um jovem físico norte-americano chamado Alan Guth. Ele tomou conhecimento do problema do achatamento numa tarde de novembro de 1978 em Cornell, numa palestra de Robert Dicke, um hábil relativista de Princeton cujas idéias sobre a radiação cósmica de fundo lembravam as de Gamow. Formado em física, Guth naquela época conhecia pouca coisa de cosmologia e, com o decidido conservantismo dos jovens, rejeitou as idéias sobre a evolução inicial do universo como "especulativas demais". A observação de Dicke sobre a estranheza de  $\omega$  ser igual a 1 pareceu-lhe "espantosa", mas na época ele não sabia o que fazer, como mais tarde se recordou.

A comunidade dos físicos, porém, começava na época a sua corte à cosmologia, e Guth viu-se logo trabalhando na questão de como os monopolos magnéticos poderiam ter sido produzidos no universo inicial. Os monopolos pareciam-lhe intrigantes: concebidos pela imaginação austera de Dirac em 1931, eram considerados como partículas maciças, com uma carga magnética unipolar. As teorias unificadas gerais indicavam terem sido criados a partir de nós no

\* Condições "iniciais" em cosmologia poucas vezes são absolutamente iniciais, já que ninguém sabe, até agora, como calcular o estado da matéria e espaço-tempo antes do tempo de Planck, que culmina em cerca de  $10^{43}$  de segundo DIT. Em lugar disso, indica-se como "inicial" algum ponto subsequente à época de Planck. Para a maioria dos objetivos, esse ponto é considerado como suficientemente inicial.

espaço-tempo, pelo mesmo evento perturbador da simetria que decomps as forças eletrofraca e nuclear forte. Anacronicamente, cada monopolo magnético abrigaria bósons W e Z capturados, bem como uma minúscula região em seu centro onde a força eletro nuclear unificada ainda funcionava.

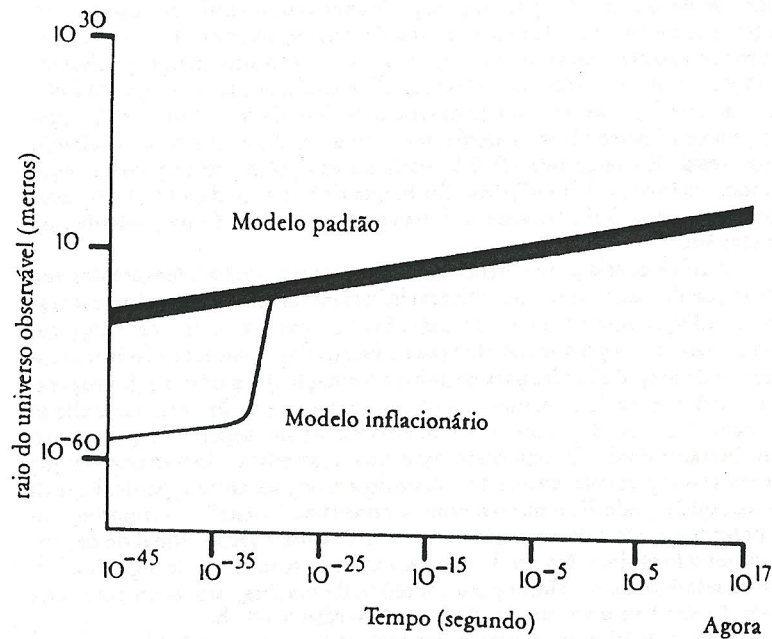
O problema que despertou a atenção de Guth, e de seu colega de Cornell, Henry Tye, era que as teorias unificadas gerais previam a produção de um número demasiado grande de monopolos magnéticos — aproximadamente cem vezes mais monopolos do que há átomos. Considerando-se que a maior parte da matéria no universo é invisível — a questão da "matéria escura" — os cosmólogos geralmente acolhem bem a sugestão de que partículas subatômicas maciças poderiam compensar o déficit, mas no caso havia um exagero. A busca de monopolos não produziu resultados: um evento registrara-se, no dia 14 de fevereiro, dia de São Valentim, ou dos Namorados, de 1982, num aparelho construído por Blas Cabrera num laboratório de porão em Stanford, mas o resultado de Cabrera não foi nunca repetido, em Stanford ou qualquer outro lugar. Isso, mais várias outras linhas de indagação, sugeriam que a população de monopolos cósmicos era desprezível, ou zero. A discordância entre a teoria, que previa muitos monopolos, e a observação, que encontrava poucos, podia ser resolvida, como Guth e Tye descobriram, se a estrutura do espaço-tempo tivesse sido menos acidentada do que se previa na época da transição da fase unificada geral. Um espaço-tempo mais suave significava menos nós de espaço-tempo, resultando em menos monopolos. Também significava um  $\omega$  igual a 1, ou perto disso.

Na noite de 6 de dezembro de 1979 Guth escreveu as palavras "Evolução do Universo" no alto de uma folha em branco, que passou a encher de cálculos. Sua hipótese era que o universo se tinha expandido inicialmente muito mais depressa do que o ritmo linear que mostra hoje — como diria Guth mais tarde, que houve uma "época inflacionária", durante a qual o universo se expandiu muito. Isso significava que o espaço era mais chato e mais liso na época da transição da grande fase unificada, e que portanto produziram-se muito menos monopolos. Também nisso havia uma solução para o problema do achatamento delineado por Dicke: como o universo teria sido muito maior no fim do período inflacionário do que se previa no velho modelo de expansão linear, o espaço seria muito mais achatado — tal como, digamos, um acre da superfície da Terra é mais chato do que um acre de um asteroide esférico de apenas 15km de diâmetro.

*Descoberta espetacular*, escreveu o jovem Guth em seu caderno no dia seguinte, traçando um quadro em volta dessas palavras. A hipótese tinha precedente; sua versão revista das transições de fase tinha sido formulada independentemente por Katsuhiko Sato, no Japão, e Martin Einhorn, nos Estados Unidos, e o crescimento do ritmo de expansão até um índice exponencial por um mecanismo rompedor da simetria tinha sido proposto por Demóstenes Kazanas, da NASA. Não funcionou muito bem em sua forma original; teve de ser aperfeiçoado por A. D. Linde, em Moscou e por Andreas Albrecht e Paul Steinhardt, da Universidade de Pensilvânia. Guth, porém, apresentou a idéia sozinho, e em sua forma acabada ela tornou mais esclarecido o estudo do universo recém-comçado.

Segundo o roteiro inflacionário, o raio do universo aumentou em cerca





O modelo inflacionário formula a hipótese de que o universo sofreu um breve período de expansão muito rápida, depois do qual fixou-se numa taxa de expansão linear que o caracterizou desde então.

de  $10^{30}$  vezes, passando de menor do que um próton para maior do que uma bola de *softball*, durante o primeiro  $10^{-30}$  de segundo de existência. Durante esse período ínfimo, mas crítico, o universo era apenas um vácuo. Sua massa e energia potenciais ainda não se podiam manifestar como partículas, porque o espaço se expandia depressa demais para que as partículas se congelassem do vácuo. Tecnicamente, descreve-se tal condição dizendo que o vácuo estava pendente em estado simétrico durante uma transição de fase. Um símile taoísta pode ser estabelecido com a água. A água líquida é mais simétrica do que o gelo, e a mudança nela, quando esfria de um líquido e se transforma em estado sólido, marca uma transição de fase que rompe a simetria. Se a água líquida for resfriada muito rapidamente, abaixo de seu ponto de congelamento, ela não se transforma em gelo imediatamente, mas permanece num estado líquido por algum tempo. Da mesma forma, na descrição do universo inflacionário, o vácuo cósmico permanece vazio mesmo depois de cair abaixo da temperatura na qual a produção de partículas ocorreria comumente. Na verdade, é essa fase intermediária que impulsiona a expansão: a energia latente está presa no que se chama de campo de Higgs de valor zero, e o campo age como um motor que

infla as dimensões do espaço cósmico, propulsionando a expansão, de modo que o universo vazio enche como um balão até a perfeita esfericidade platônica.\*

Por fim (ou seja, depois de cerca de  $10^{-30}$  de segundo), a instabilidade quântica da situação alcança a expansão, que diminui abruptamente para um ritmo linear. Quando isso acontece, a energia latente no vácuo se precipita para fora como partículas e antipartículas. (Assim, foi injetada nova vida ao ridicularizado quadro do estado estacionário, em que átomos se congelavam de um vácuo.) As partículas aniquilam-se mutuamente e o dilúvio de energia disso resultante provoca o *big bang*. As teorias unificadas gerais, cuja composição requer atenção aos campos de Higgs, demonstram até mesmo como o rompimento da simetria ao final da época inflacionária poderia ter provocado um pequeno desequilíbrio de matéria em relação à antimatéria, deixando um resíduo, uma vez terminados os fogos de artifício, com o qual se construiu o universo material.

A inflação não só resolveu o problema do achatamento, revelando por que  $\Omega$  é igual à unidade, ou quase, como também outro grande mistério cosmológico, o problema do *horizonte*. O universo observável, tomado como um todo, é notavelmente homogêneo. Em toda estrela, em toda direção, encontramos átomos idênticos funcionando de acordo com as mesmas leis físicas, e a radiação cósmica é também a mesma por toda parte. Isso, por estranho que pareça, nunca tinha sido explicado pelo modelo padrão do *big bang*. O problema era que o universo em expansão linear do velho modelo expandia-se com demasiada rapidez para que todos os quanta do universo muito inicial tivessem mantido contato causal entre si: 90% do universo no velho modelo está além do horizonte causal para qualquer observador, significando isso que o tempo não foi suficiente para que a informação, mesmo viajando à velocidade da luz, impregnasse o universo.

Essa omissão zombava da universalidade da lei natural. Como poderiam átomos e fótons, de um lado do universo, comportar-se exatamente como átomos e fótons do outro, se nunca se tinham comunicado entre si? Para visualizar o problema, imaginemos uma banda marcial reunida num relvado, pronta para começar a tocar no momento em que o tambor, colocado no centro, fizer soar o tempo forte. No momento em que esse tempo começa, os componentes da banda marcham rapidamente afastando-se do tambor em todas as direções, quase que à velocidade do som. O resultado será o caos. Apenas uns poucos músicos ouvirão o tempo; a maioria deles se estará afastando rapidamente, incapaz de ouvi-lo, e com isso não saberão quando começar a tocar, ou o que tocar. Em termos cosmológicos, a velocidade do som é substituída pela velocidade da luz, a mais rápida na qual as informações podem ser trocadas. O modelo padrão exigia que as partículas do universo inicial partissem antes que pudessem receber suas ordens de marcha: sem terem ouvido o tambor marcar o tempo, como poderiam os primeiros *quarks* "saber" como ser *quarks*, e todos os fótons aprender

\* A esfera pode ter muitas dimensões; é outro problema, e dele se ocupam as teorias da supersimetria, que ainda não fixaram uma seqüência temporal descrevendo quando o universo jovem entrou supostamente em colapso em suas dez dimensões, aproximadamente, reduzindo-se a três dimensões de espaço e uma de tempo.



as regras que governam os fótons? Se isso tivesse ocorrido na gênese, quase todos os aglomerados de galáxias seriam feitos de matéria diferente e obedeceriam a diferentes leis. Em lugar disso, o universo observável é uma unidade. Como se explica isso?

À primeira vista, a inflação parecia apenas agravar as coisas, já que postula uma taxa de expansão cósmica ainda mais rápida. Na realidade, porém, ela resolve o problema, permitindo ao material do universo muito inicial permanecer junto, em contato causal, por um período relativamente longo, antes de começar a inflação. Os componentes da banda têm agora tempo de ouvir o tempo antes de começar a marchar; só depois disso é que entram no expresso inflacionário, que vai tão depressa que alcançam logo a taxa de expansão linear. Agora, todos têm as suas instruções ao partir e, em consequência, podem tocar a mesma música. A inflação explicou, dessa forma, por que a radiação cósmica de fundo é isotrópica, e por que os *quarks* e elétrons da Terra são idênticos aos do aglomerado da Cabeleira de Berenice.\*

Tudo isso constituía boa notícia para Ed Tryon e seu pequeno grupo de entusiastas da gênese do vácuo. A hipótese inflacionária tornava mais plausível a gênese do vácuo, admitindo a possibilidade de que o universo tivesse começado como uma partícula relativamente modesta, fria, vindo mais tarde a calor do *big bang*, na explosão de fogo, liberada pela energia latente do vácuo quando a época inflacionária terminou. E a inflação pintou o vácuo em cores novas e mais vibrantes. Quando se aceitava a idéia de que toda matéria e energia no universo irromperam de um vácuo por um momento breve, mas finito depois do início do tempo, já não parecia tão absurdo imaginar que tudo podia ter começado com um vácuo.

Guth, por sua vez, tornou-se um partidário do vácuo, vendo-o menos como um vazio e mais como uma cornucópia. Calculou que um pequeno volume de vácuo, apenas, se suficientemente concentrado, teria sido suficiente para provocar a inflação. Se, então, nosso universo começou com um fluxo quântico — uma espécie de bolha — num vácuo primordial, poderíamos imaginar que outros universos se formaram de outras bolhas. Além disso, pensou Guth, a criação não precisa ser relegada apenas ao passado, mas poderia ocorrer novamente: se uma instabilidade de vácuo em nosso universo viesse a criar bolhas de tal modo que se formasse outro universo, jamais o saberíamos. Pela nossa perspectiva, o único vestígio da nova criação seria um pontinho de curvatura espacial infinita. Na verdade, parece haver tais pontos, aqui e ali, nas regiões infinitamente curvas do espaço que cercam os buracos negros. Pode-se conceber que toda vez que uma estrela gigante se transforma em supernova e seus restos colapsam para formar um buraco negro, ela poderia dar origem a novo universo, do outro lado do espaço e do tempo.

\* A teoria da inflação sugere que o universo é muitos bilhões de vezes maior em volume do que se calculava pelo velho modelo do *big bang*. O universo observável, porém, constituiria apenas uma fração do universo como um todo. Seus limites são determinados menos pelo espaço do que pelo tempo, já que só podemos ver os eventos cuja luz teve tempo de chegar à Terra. Se, por exemplo, as primeiras estrelas começaram a brilhar há 18 bilhões de anos, então nenhum observador verá estrelas que estejam a mais de 18 bilhões de anos-luz de distância, não importando qual o tamanho que o universo possa ter, como um todo.

Se assim for, especulou Guth, a criação artificial de um buraco negro pela aplicação de uma tecnologia avançada poderia criar outro universo. Esse buraco negro feito de encomenda não precisaria de uma massa enorme. “Talvez fosse até mesmo possível começar um universo novo usando uma energia equivalente a apenas uns poucos quilos de matéria”, disse Guth, numa entrevista em 1987. “Desde que fosse possível comprimi-la a uma densidade de cerca de  $10^{73}$  gramas por centímetro cúbico, e desde que se pudesse disparar a coisa, a inflação faria o resto.” E se poderíamos fazê-lo, então talvez alguém o tenha feito há muito tempo. “Pelo que sabemos”, disse Guth, que tinha o dom da formulação lacônica de idéias radicais: “o nosso universo pode ter começado no porão da casa de alguém.”<sup>9</sup>

Ainda que seja apenas para recolocarmos os pés no chão, lembremos que houve problemas, tanto com o universo inflacionário como com a gênese do vácuo. A inflação alisou o universo antigo, é certo, mas o fez com uma vingança, dando aos teóricos grande trabalho para eliminar das equações um número suficiente de irregularidades para permitir a formação das galáxias e dos superaglomerados (e, evidentemente, dos metassuperaglomerados) nos quais elas se reúnem. A gênese do vácuo sofreu de uma constante suspeita de que ela não seria bastante doída. O vácuo quântico é uma característica do universo em que vivemos — as partículas virtuais ferverham *hoje* no espaço entre as partículas reais — mas quem pode dizer que o mesmo acontecia no “vácuo” que supostamente precedeu o início da expansão do universo? *Aquele* vácuo, afinal de contas, devia ter sido muito diferente do que encontramos no universo de hoje. Sua curvatura relativista era infinita e seu conteúdo de matéria, provavelmente zero, nada do que é verdade em relação ao espaço cósmico de hoje.

Alguns teóricos propuseram, em lugar disso, uma série de hipóteses ainda mais estranhas, mas pelo menos igualmente promissoras. Em conjunto, essas idéias atendem pelo nome de “gênese quântica”. Sua abordagem consistia em tomar a natureza randômica do fluxo quântico e entronizá-la como a lei dominante do universo extremamente inicial. Um dos pioneiros dessas idéias foi Stephen Hawking, que ocupava a velha cátedra de Newton como Professor Lucasiano de Matemática da Universidade de Cambridge. Descrito pelos colegas como “o mais próximo que temos de um Einstein vivo”, Hawking teve uma produtiva carreira na física, apesar de sofrer de ALS, uma enfermidade fatal que ataca o sistema nervoso central. Trabalhava instalado em sua cadeira de rodas, escrevendo e comunicando-se por meio de um computador controlado por uma alavanca articulada, manipulada com um dedo. Impacientava-se menos com o seu mal do que com as pessoas que o queriam cultivar como um herói, apiedavam-se dele como um doente ou o tratavam como se fosse diferente de qualquer outro gênio. Quando fazia o seu pós-doutorado, Hawking e seu colega Roger Penrose demonstraram que a relatividade geral significa que o universo começou numa “singularidade”, um estado de espaço infinitamente curvo no qual as leis da relatividade não se aplicavam. Isso provava, como disse Hawking, que “a relatividade prevê a sua própria queda”.<sup>10</sup>

A teoria quântica, porém, podia funcionar onde a relatividade não funcionava, e nos últimos anos Hawking começou a explorar a perspectiva de explicar a origem do universo em termos das probabilidades quânticas. Seus instrumentos incluíam o “tempo imaginário” — um tempo medido em termos



de números imaginários — e o método “soma de histórias” de fazer mecânica quântica, adotado por Richard Feynman.

Os números imaginários não fazem sentido quando usados segundo as regras matemáticas habituais. Um exemplo é a raiz quadrada de -1, que produzirá em resposta um “erro”, se pedida a uma calculadora eletrônica. Funcionam perfeitamente bem, porém, de acordo com suas regras próprias; os números imaginários foram empregados com resultados excelentes em hidrodinâmica, por exemplo. A estratégia da “soma das histórias” de Feynman consiste em calcular todas as trajetórias passadas possíveis de uma partícula, e chegar, através das probabilidades quânticas, à trajetória mais provável pela qual a partícula alcançou o seu estado observado. Hawking, trabalhando com o cosmólogo norte-americano James Hartle na Universidade de Califórnia em Santa Bárbara, aplicou esse método ao universo como um todo. Falando através de um intérprete, num salão arqueado forrado de madeira, em Pádua, onde Galileu deu aulas, Hawking anunciou que tinha sido capaz de derivar a função de onda quântica do universo como um todo. “O universo hoje é descrito com precisão pela relatividade geral clássica”, disse ele.

Mas a relatividade clássica prevê uma singularidade no passado, e perto dessa singularidade, a curvatura [do espaço] será muito elevada, a relatividade clássica não se aplicará, e os efeitos quânticos terão de ser levados em conta. Para compreender as condições iniciais do universo, temos de nos voltar para a mecânica quântica, e o estado quântico do universo determinará as condições iniciais para o universo clássico. Por isso, quero fazer hoje uma proposta para o estado quântico do universo.<sup>11</sup>

O que se seguiu foi uma história da evolução cósmica dotada de uma beleza estranha. Todas as linhas do mundo divergem da singularidade da gênese, observou Hawking, como as linhas da longitude procedem do Pólo Norte no globo terrestre. Ao percorrermos nossa linha do mundo vemos as outras linhas se afastarem de nós, como acontece com um explorador que viaja para o sul ao longo de uma determinada longitude: é a expansão do universo. Dentro de bilhões de anos, a expansão se deterá e o universo entrará em colapso, acabando por fundir-se numa outra bola de fogo, no final do tempo. Não há, porém, sentido em perguntar quando o tempo começou, nem quando terminará: “Se a sugestão de que o espaço-tempo é finito, mas ilimitado, é correta”, disse Hawking em outra ocasião, “o *big bang* é mais ou menos como o Pólo Norte da Terra. Perguntar o que acontece antes do *big bang* é mais ou menos como perguntar o que acontece na superfície da Terra a 1km ao norte do Pólo Norte. É uma pergunta sem sentido.”<sup>12</sup>

O tempo imaginário, na opinião de Hawking, era o tempo passado e o futuro, e o tempo tal como o conhecemos era apenas a sombra, com a simetria rompida, do tempo original. Quando uma calculadora manual registra “erro” se lhe pedimos o valor da raiz quadrada de -1, ela nos está dizendo, ao seu jeito, que pertence a *este* universo, e não sabe investigar o universo tal como era antes do momento da gênese. E é esse o estado de toda ciência, até que tenhamos instrumentos para explorar o regime muito diferente que predominava quando o tempo começou.

Outra abordagem quântica da gênese, defendida por John Wheeler, ressaltava a quantização do próprio espaço. Tal como matéria e energia são feitas de quanta, dizia o seu argumento, também o próprio espaço deve ser quantizado em suas bases. Wheeler gostava de comparar o espaço quântico ao mar: vista de órbita, a superfície do oceano parece lisa, mas se estivermos num bote a remos sobre ela, “vemos as espumas, e as ondas se quebrando, e essa espuma é como retratamos a estrutura do espaço até as mínimas escalas”.<sup>13</sup>

No universo de hoje, a estrutura espumosa do espaço manifesta-se no constante florescimento das partículas virtuais. No universo muito inicial — significando isso anterior ao tempo de Planck — o espaço poderia ter sido um mar realmente muito agitado, e seu tempestuoso fluxo quântico poderia ter dominado todas as interações de partículas. Como nos orientarmos, aqui?

Wheeler — um velho estadista que aprendeu sua ciência com Einstein e Bohr e por sua vez educou toda uma geração de físicos — achou que a resposta estava na geometria do espaço-tempo: “O que haverá além disso, com o qual construir uma partícula, a não ser a própria geometria?”<sup>14</sup> perguntou ele. Wheeler comparou o fluxo quântico do começo do universo a um complicado nó de marinheiro, de um tipo que parece impossível de desfazer, mas que não obstante se desmanchará se pudermos encontrar a ponta da corda e dar-lhe um puxão da maneira adequada. O nó em seu símile é a geometria hiperdimensional do universo original, a corda sem nó, o universo que habitamos hoje. Penrose disse: “Não acredito que um conhecimento real da natureza das partículas elementares possa jamais ser alcançado sem um conhecimento mais profundo, simultâneo, da natureza do próprio espaço-tempo.”<sup>15</sup> Para Wheeler, isso se aplicava ao universo como um todo:

“O espaço é um *continuum*.” Foi o que pensaram décadas passadas, desde o começo, quando perguntaram: “Por que o espaço tem três dimensões?” Nós, hoje, perguntamos, em lugar disso: “Como o mundo consegue dar a impressão de que tem três dimensões? Como pode haver algo como um *continuum* espaço-tempo, a não ser em livros? Como poderemos ver o “espaço” e a “dimensionalidade” a não ser como palavras aproximativas para uma base, um substrato, uma “pré-geometria”, que não tem a propriedade da dimensão?”<sup>16</sup>

Para responder a tais perguntas, argumentou Wheeler, a ciência teria de entrar, de alguma forma, num novo reino, um mundo de “lei sem lei”, no qual, como ensina o princípio de indeterminação quântica, a resposta depende da pergunta feita. Wheeler lembrava-se de ter participado de um jogo de 20 perguntas. Deixava a sala por um período durante o qual a resposta era decidida pelos outros jogadores, depois voltava e começava a fazer as perguntas. As respostas vinham cada vez mais devagar, até que Wheeler finalmente adivinhava: “Nuvem”, e diziam-lhe, para a diversão geral, que estava certo. Quando os amigos pararam de rir, explicaram que lhe tinham pregado uma peça: não havia originalmente nenhuma resposta certa; os amigos tinham decidido formular as respostas de modo que cada uma fosse coerente com as respostas dadas às perguntas anteriores. “Qual o simbolismo da história?”, perguntou Wheeler.



# A MENTE E A MATÉRIA

A Vida, como uma cúpula de vidro multicolorido,  
Mancha a radiação branca da Eternidade.

*Shelley*

Um triste espetáculo. Se forem habitados, que possibilidades de miséria e loucura.  
Se não, que desperdício de espaço.

*Thomas Carlyle*

O mundo, como acreditávamos antigamente, existe "lá fora", independente de qualquer ato de observação. O elétron no átomo foi por nós considerado, outrora, como tendo, a cada momento, uma posição definida e um momento definido. Eu, ao entrar, achei que a sala continha uma palavra definida. Na realidade a palavra foi desenvolvida passo a passo pelas perguntas que eu fazia, tal como as informações sobre o elétron são criadas pelas experiências que o observador resolve fazer. Ou seja, pelo tipo de equipamento de registro que ele coloca em prática. Se eu tivesse feito diferentes perguntas, ou as mesmas perguntas em diferente ordem, eu teria terminado com uma palavra diferente, tal como o experimentador teria terminado com uma história diferente para os feitos do elétron... No jogo, nenhuma palavra é uma palavra enquanto ela não é promovida à realidade pela escolha das perguntas feitas e respostas dadas. No mundo real da física quântica, *nenhum fenômeno elementar é um fenômeno enquanto não é um fenômeno registrado.*<sup>17</sup>

Ficamos, então, com uma imagem da gênese como um castelo silencioso e imponderável, onde nossos olhos lançam raios homéricos, inovativos, e as únicas vozes são as nossas. Depois de termos entrado, e reverente e aplicadamente feito nosso dever de casa científico, perguntamos, da melhor maneira que podemos formular a pergunta, como ocorreu a criação. A resposta nos vem, ressoando pelas abóbadas onde a mente e o cosmos se encontram. É um eco.

## NOTAS

1. In Rothenberg, 1969, p. 34. A trad. para o ing. foi ligeiramente modificada.
2. Sandage, entrevista com o autor, Pasadena, 2 de fevereiro de 1985.
3. Richard Feynman, palestra na Universidade do Sul da Califórnia, 6 de dezembro de 1983.
4. In Yourgrau e Breck, 1977, p. 95.
5. Edward Tryon, entrevista com o autor, Nova York, 1º de maio de 1984.
6. Ibid.
7. Hawking, entrevista com o autor, Pasadena, 4 de abril de 1983.
8. In Root-Bernstein, Robert Scott, *Discovering*, manuscrito pré-publicação, 1985.
9. Guth, Alan, in *The New York Times*, 14 de abril de 1987, p. 17.
10. Hawking, comunicação privada, 11 de agosto de 1987.
11. Hawking, palestra na 10ª Conferência Internacional sobre a Relatividade Geral, Pádua, Itália, 7 de julho de 1983.
12. Hawking, entrevista com o autor, Pasadena, 1985.
13. Wheeler, entrevista com o autor, Austin, Texas, 28 de fevereiro de 1985.
14. Misner, Thorn e Wheeler, 1973, p. 1.202.
15. Roger Penrose, *Structure of Spacetime*, in DeWitt e Wheeler, 1968, p. 121.
16. Wheeler, "Beyond the Black Hole", in Woolf, 1980, p. 351.
17. Ibid., p. 356. Grifos de Wheeler.

As questões científicas que discutimos neste livro serviram, por menos intencionalmente que o tenham feito, para implicar e situar nossa espécie no universo geral. A astronomia, ao quebrar as esferas cristalinas que, como se acreditou, isolavam a Terra dos reinos etéreos além da Lua, colocou-nos dentro do universo. A física quântica rompeu a metafórica placa de vidro que se supunha separar o observador imparcial e o mundo observado. Estamos, como descobrimos, inevitavelmente emaranhados naquilo que estudamos. A astrofísica, ao determinar que a matéria é a mesma em toda parte, e que em toda parte ela obedece às mesmas regras, demonstrou uma unidade cósmica que se estende da fusão nuclear nas estrelas à química da vida. A evolução darwiniana, indicando que todas as espécies da vida terrestre estão relacionadas e que todas nasceram da matéria comum, deixou claro que não há muros separando-nos das outras criaturas da Terra, ou do planeta que nos deu vida — que somos do estofado de que são feitos os mundos.

A convicção de que somos da mesma matéria que o universo, de certa forma, tinha sido estabelecida muitas vezes antes, em outras esferas de pensamento. Já vez Fez Adão de barro; Heráclito, o grego, escreveu que "todas as coisas são uma mesma coisa"; Lao-tsu, na China, descreveu o homem e a natureza como