



O QUE É COSMOLOGIA?  
A REVOLUÇÃO DO PENSAMENTO COSMOLÓGICO  
MÁRIO NOVELLO

J O R G E   Z A H A R   E D I T O R

# 11. Modos de criação do Universo

Este mundo, o mesmo para todos, nenhum deus nem nenhum homem o criou, mas ele sempre foi, é e será.<sup>1</sup>

## Modos de criação

Que significado dar à expressão "modos de criação"? Sabemos que a possibilidade de descrição racional completa do mundo não é compatível com a existência de um momento singular (o chamado big-bang), posto que todo processo físico ulterior deveria depender de quantidades impossíveis de serem definidas na singularidade.

Assim, para contornar a dificuldade e produzir uma visão racional completa do mundo, duas atitudes foram adotadas:

- o exame da possibilidade de existência de uma fase colapsante anterior;
- novidades na descrição do Universo em sua fase extremamente condensada, graças à existência de processos de natureza quântica.

Não cabe detalhar aqui as sofisticadas questões técnicas que a descrição completa dos dois esquemas requerem. Entretanto, deve-se observar que, em ambas as propostas, os diversos cenários criados possuem um ponto em comum que pode ser simplificado descrito como a existência de um "estado" anterior ao momento de máxima concentração, representado classicamente por uma fase colapsante primordial que teria antecedido a fase atual expansionista. Em particular, a versão quântica permite produzir uma descrição na qual a própria ideia de espaço-tempo deveria ser deduzida de estruturas mais elementares, isto é, os fenômenos que iniciariam a expansão do Universo seriam descritos por estruturas não representáveis no espaço-tempo.

## Universo eterno ou big-bang?

Ao final dos anos 1990, os cosmólogos retomaram, de modo sistemático, o exame daquela que é talvez a questão mais fundamental da ciência: a criação do Universo. Várias propostas alternativas têm sido desde então desenvolvidas, gerando modelos construídos a partir de leis físicas conhecidas — isto é, sem fazer apelo a modificações não controladas do comportamento da matéria e da energia. Essa atitude por parte dos cientistas não deve provocar espanto algum, posto que ela não é novidade e permanece como uma tradição natural de explicação racional completa do mundo.<sup>2</sup> De um modo geral, a ideia de um início singular, explosivo, do Universo, que determinaria os limites nos quais a investigação científica deveria ser interrompida, parece ser hoje menos atraente que outras propostas. A ideia de aceitar condições iniciais inacessíveis foi posta de lado.

O termo big-bang para caracterizar a suposta explosão inicial possui duas distintas conotações, dependendo de sua utilização, com ou sem rigor científico. No sentido técnico, ele significa um Universo muito condensado em que novas leis físicas poderiam ocorrer. Por outro lado, em seu significado mais popular, identificaria o começo do mundo, uma região para sempre inacessível. É nesse segundo caso que o limite de racionalidade do mundo se aplicaria.

Não iremos aqui produzir um inventário das diferentes propostas recentemente apresentadas de geração do Universo. Concentraremos nosso interesse em duas versões que são exemplos bem característicos das correntes rivais mais relevantes — uma, de natureza clássica, outra, de natureza quântica. Não deixa de ser curioso observar que tanto uma quanto outra fazem referência a um certo estado primordial denominado "Vazio" ou "Nada". É bem verdade, também, que esse estado possui significados distintos para os diversos modelos. Ambos, no entanto, partilham uma propriedade comum: eles se referem ao estado fundamental como algo que se aproxima bastante do conceito intuitivo tradicional de vazio — isto é, a ausência de matéria e energia sob qualquer forma, inclusive a gravitacional. Assim, nos dedicaremos a comentar essas propostas capazes de descrever possíveis mecanismos de criação do Universo.

- Proposta quântica: baseada na existência de uma era primordial controlada por processos de natureza quântica.
- Proposta clássica: baseada em modificações na estrutura da geometria do espaço-tempo ao longo da sua história, o cenário wist.

## Criação espontânea: Universo quântico

Na teoria da gravitação, costuma-se considerar um comprimento  $L_p$  — o comprimento de Planck — como um valor fundamental capaz de caracterizar o limiar de separação entre seus domínios clássico e quântico. O valor efetivo desse comprimento é construído, por meio de uma análise dimensional simples, a partir dos valores das constantes fundamentais da física moderna:

- a característica quântica dada pela constante de Planck  $h$ ;
- a contribuição da teoria da relatividade representada pela velocidade da luz denotada pela letra  $c$ ;
- a própria constante newtoniana da gravitação  $G$ .

Obtemos, assim,  $L_p = h g / c^3$ , cujo valor é dado por  $L_p = 10^{-33}cm$ , aproximadamente. A possibilidade de construção dessa quantidade é, em geral, relacionada à ausência da simetria conforme dos processos gravitacionais, isto é, à não invariância dessa interação por transformações de escala dependentes de posição no espaço-tempo. Tal alteração no valor padrão de réguas e relógios é conhecida sob o nome de transformação conforme e desempenha um importante papel em vários setores da física. Assim, para comprimentos tão pequenos,  $10^{22}$  vezes menores que o alcance da interação nuclear, flutuações de natureza quântica da geometria poderiam ser relevantes e até dominantes. Essa consideração levou alguns autores a argumentar que a própria ideia de um contínuo espaço-tempo não poderia mais ser aí empregada.

Infelizmente, a física quântica gravitacional não é (ainda?) uma ciência experimental. Não existe nenhuma observação direta ou indireta capaz de pôr à prova — como requer a boa tradição científica — as consequências da hipótese quântica da gravitação. Assim, penetra-se um nebuloso território onde, para descrever a quantização da gravitação, não temos a observação como o critério tradicional para limitar as diferentes possibilidades teóricas.

Este comentário não pretende reduzir a importância formal dos processos de natureza quântica da gravitação, mas tem por objetivo simplesmente alertar o leitor para a verdadeira perspectiva com que devemos encarar as consequências formais da aplicação do procedimento de quantização.

Sabe-se, desde o final dos anos 1960, que efeitos quânticos podem alterar radicalmente o comportamento do campo gravitacional nas vizinhanças de uma eventual singularidade clássica. Alguns autores procuraram mostrar que, de todas as possíveis configurações quânticas do Universo denotadas pela letra grega  $\Psi$ , as mais prováveis seriam aquelas não singulares, isto é, que representam Universos eternos, sem um tempo finito de existência. Infelizmente, não se conseguiu até hoje qualquer demonstração dessa conjectura que independesse de condições especiais de contorno impostas a essa função. Desse modo, embora os efeitos quânticos alterem a questão da criação do Universo, eles não são capazes, em geral, de eliminar completamente uma inacessível singularidade, e, como no mundo estritamente clássico, pode ou não ocorrer uma origem tipo big-bang.

Podemos agora perguntar: qual a descrição para a origem do Universo que uma teoria quântica da gravitação nos oferece? De várias outras, iremos comentar somente uma

proposta, conhecida sob um título intrigante: criação a partir do Nada ou flutuação do Vazio. O ponto de partida desse modelo é a equação quântica da gravitação, ou equação de Wheeler-de-Witt (WW), que desempenha, para essa interação, o papel atribuído à equação de Schrödinger no resto da física. Na equação WW, um complicado operador atua sobre o objeto matemático  $\Psi$ , interpretado *a posteriori* como a função de onda quântica do Universo.

A ideia de criação quântica do Universo consiste em partir de um estado fundamental  $\Psi$ , que descreve o vazio, onde não há nada, exceto "zero (*vacuum*) flutuação de todos os campos físicos, inclusive o gravitacional."<sup>3</sup> Aí não haveria possibilidade sequer de considerar o contínuo espaço-tempo, posto que essa estrutura pertence ao território clássico (isto é, não quântico). Como resultado de flutuações de  $\Psi$ , aparece uma certa estrutura clássica (ulteriormente identificada como o espaço-tempo).

Um modelo mais restritivo, ou melhor, mais específico, pretende caracterizar já nessa estrutura nascente uma particular configuração, identificando-a com uma geometria do tipo de deSitter. Pode parecer espantoso constatar que o espaço-tempo é gerado como uma estrutura regular já detalhada em suas propriedades, particularizando não somente um contínuo riemanniano como uma específica configuração tão cheia de simetrias quanto a geometria de deSitter. De um modo simplista, pode-se argumentar que a geometria de deSitter representa o vácuo cósmico, gerado pela completa ausência de matéria e energia, exceto por uma flutuação global identificada à constante  $\Lambda$ .

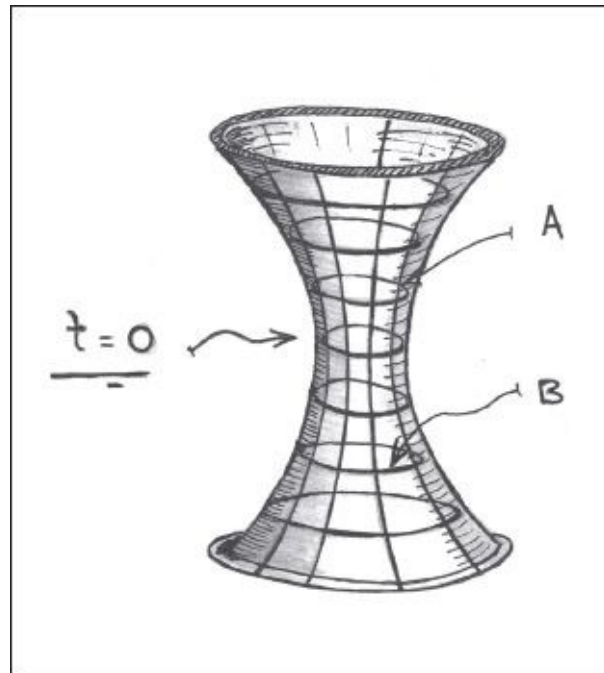
É preciso, ademais, levar em conta que a criação do Universo nesses modelos quânticos de flutuação do vácuo é considerada dentro do programa convencional da física, isto é, sem violação das leis observadas no nosso Universo. A última afirmação poderia parecer à primeira vista irrelevante, entretanto, é bom lembrar que vários autores têm argumentado sobre a possibilidade de transcendência daquela autolimitação, gerando configurações que contêm incontroláveis modificações em suas leis internas.

Paralelamente a essa generalização — e para permitir alguma forma de autocontrole —, associaram-se certos princípios limitadores às múltiplas configurações. Um exemplo que adquiriu certo sucesso é o "princípio antrópico", criado com a função de singularizar nosso Universo em meio a uma coleção de possíveis mundos, e graças tão somente à nossa existência: uma tentativa de *aggiornamento* da visão ptolomaica do mundo. Não faremos comentários adicionais a essas tentativas, citando-as somente para alertar o leitor sobre os embaraços formais com que depara a cosmologia, bem como qualquer atividade conceitual que trata de totalidades.<sup>4</sup>

Geometrias do tipo de deSitter podem representar universos em colapso ou em expansão (ver Figura 7). É possível adotar aqui duas interpretações: ou o Universo tem uma história eterna, e a configuração clássica identificada com a geometria de deSitter sempre se autossustentou; ou, então, uma fase não clássica pode aparecer em uma região que identificaríamos como "próxima" ao ponto de máxima condensação.

No segundo caso, a descontinuidade entre uma estrutura colapsante anterior e uma estrutura expansiva apareceria como consequência de processos quânticos de tunelamento, através de região classicamente proibida, onde a estrutura espaço-tempo perderia seu significado. Poderíamos mesmo dizer que ela estaria aí sendo fabricada, guardando a memória de um equivalente estado "anterior". As duas interpretações são possíveis e

conduzem à mesma descrição: a existência de uma fase expansionista tipo deSitter para a geometria do Universo.



**Figura 7**

*Universo de deSitter representado por um hiperboloide. As curvas do tipo A são geodésicas do tipo-tempo, e as curvas do tipo B (em formato de anéis) ilustram superfícies com a coordenada  $t$  constante. Para  $t < 0$ , o Universo se contrai, e para  $t > 0$ , se expande. Em  $t = 0$ , existe a aproximação máxima das curvas do tipo A.*

Um Universo eterno, sem singularidade, criado espontaneamente a partir da instabilidade de um longínquo estado do vazio, tendo experimentado uma fase colapsante até atingir seu volume mínimo, e iniciado em seguida um processo de expansão que vivenciamos hoje: essa configuração do cosmo é compatível com o estado atual das observações astronômicas bem como com as teorias físicas existentes — sejam elas de natureza clássica ou quântica. É o Vazio, estado fundamental da matéria e energia sob qualquer forma, que constitui o "estofa primordial" com que se formam não somente o espaço e o tempo, mas a própria matéria, isto é, toda substância do mundo. Essa cosmogonia leva à afirmação de que existir pressupõe como condição imprescindível a instabilidade do Vazio. Vamos ver como esse cenário eterno, em sua versão clássica, vem sendo igualmente elaborado pelos cosmólogos.

## Cenários de Universo eterno

### **O Vazio**

A noção de vazio permeia a física moderna. No mundo quântico, ele é um estado fundamental a partir do qual todos os demais estados fisicamente relevantes são definidos. Certamente não tem as propriedades que o mundo clássico lhe atribuía.

Se fôssemos procurar em outras atividades — na filosofia, por exemplo — o seu correspondente, encontraríamos praticamente em todos os grandes esquemas filosóficos um procedimento análogo, envolvendo a discussão sobre o ser, a existência de uma coisa, de qualquer coisa. Os físicos pretendem assumir um discurso diferente, menos abrangente, com toda a aparência exigida pelo rigor absoluto e independente dos processos observados. Assim, argumenta-se que o Vazio é um estado da matéria, dos correspondentes campos associados, possuindo particularidades como qualquer outro estado. Ademais, trata-se de algo observável, que pode ser medido. Isso realmente o identifica como um estado convencional. Entretanto, ele possui uma particularidade especial, por ser um estado fundamental a partir do qual todos os demais estados dos campos podem ser construídos.

Untitled Folder

### **Colapso e expansão**

Devemos agora, para prosseguir nossa análise, perguntar: seria possível, graças a processos clássicos, conectar as fases colapsante e expansionista de um Universo friedmanniano eterno? Sim, dirá o cosmólogo. Com efeito, apresentou-se mais de um modelo capaz de descrever tal configuração nos últimos anos. Iremos examinar, a título de exemplo, somente uma dessas possibilidades, que tem por base a modificação da estrutura geométrica do espaço-tempo ao longo de sua história.<sup>5</sup>

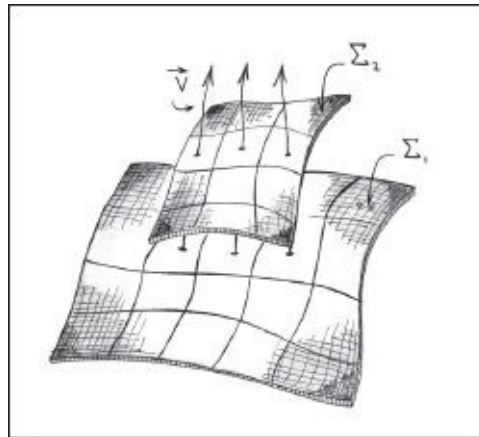
Ao passar por uma fase extremamente condensada, tendo atingido o raio mínimo, o Universo sofreu mudanças globais em seu comportamento. Entre elas, a que nos interessa examinar é a possibilidade de ter havido uma modificação estrutural em sua geometria. Para compreendermos como essa alteração é possível, pelo menos em princípio, devemos entender uma questão delicada e que pode ser resumida da seguinte forma: se observações efetuadas em um dado momento e em uma determinada região do espaço indicam o tipo particular de estrutura geométrica do mundo, é permitido concluir que essa estrutura será preservada como tal ao longo da história do Universo? Dito de um modo mais técnico: se, em uma dada hipersuperfície tridimensional denotada por  $\Sigma_1$ , a estrutura geométrica é do tipo riemanniano, o que podemos afirmar sobre a estrutura desse espaço-tempo em uma outra hipersuperfície  $\Sigma_2$ , no futuro de  $\Sigma_1$ ?

Para responder a essa pergunta é preciso nos situarmos no interior de um modelo capaz de descrever o comportamento do campo gravitacional ao longo de toda a história do Universo. Assim como ocorre com a matéria ordinária, que pode exibir transições de fase controladas pela temperatura (passagem de um estado líquido ao gasoso, por exemplo), ela também pode constituir o parâmetro controlador capaz de distinguir modificações estruturais da geometria.



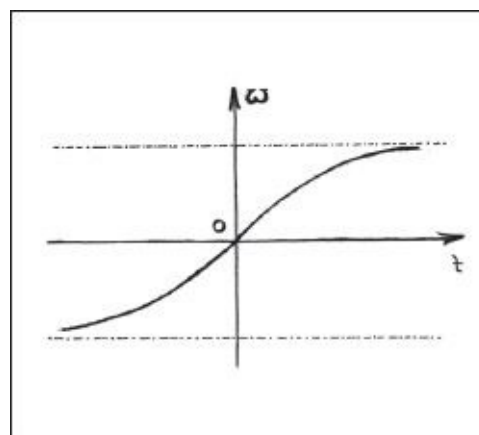
Quando o Universo se encontra extremamente condensado, nas vizinhanças de seu raio mínimo (o que, de acordo com a descrição friedmanniana típica, é sinônimo de temperatura muito elevada), uma transição de fase geométrica pode ocorrer. Quando essa transição é suave, e as alterações contínuas, é possível estabelecer uma descrição analítica do processo — associada a uma modificação efetiva da gravitação einsteiniana. Pode-se descrevê-lo como a passagem de uma configuração clássica riemanniana (quando o raio do Universo é suficiente grande, comparado com o raio mínimo) para uma estrutura descrita pela geometria de Weyl integrável, chamada wist.

Alarga-se assim o número de variáveis necessárias para descrever a gravitação. Como devemos tratar do Universo espacialmente homogêneo, além do raio  $A(t)$ , precisamos conhecer também uma outra função  $\Omega(t)$  que controla o afastamento da estrutura riemanniana do espaço-tempo. Quando essa função for constante, a geometria é riemanniana. A estrutura wist só aparece naquelas regiões onde  $\Omega$  não é constante. Nesse caso, a questão a que nos referimos acima pode ser reinterpretada: se a função  $\Omega$  é praticamente constante hoje, como pode ela ter variado ao longo do tempo cósmico? Uma resposta a essa questão aparece na Figura 8.



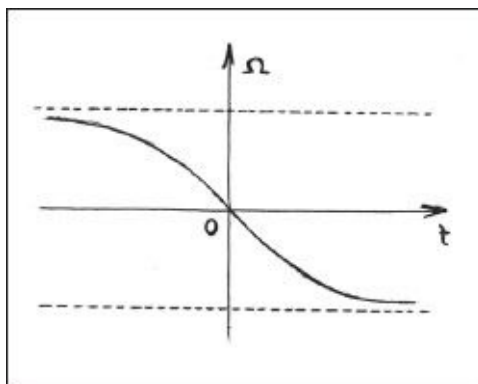
**Figura 8A**

Representação da evolução da geometria em wist. Na hipersuperfície  $\Sigma_1$ , a geometria é riemanniana, uma vez que o campo  $\Omega$  é praticamente constante. Já em  $\Sigma_2$ , de menor "raio", o campo  $\Omega$  teria uma grande variação temporal, caracterizando assim uma geometria de Weyl. As linhas com setas ilustram algumas trajetórias do campo de observadores.



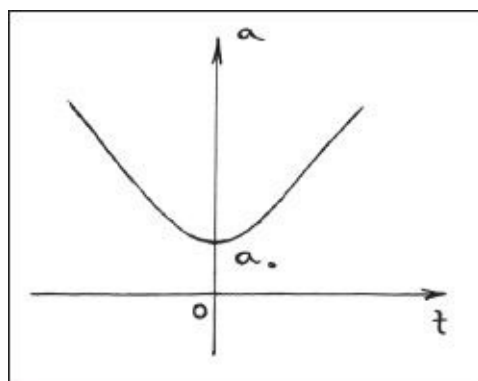
**Figura 8B**

Variação temporal da função  $\Omega$  (representado no gráfico em letra minúscula) em wist.



**Figura 8C**

Varição da função  $\Omega$  no modelo de antiwist.



**Figura 8D**

Evolução do “raio do Universo”  $a(t)$  em ambos os casos. Note que a configuração é eterna, sem começo nem fim.

Por questões técnicas, a figura que nos interessa particularmente é a 8-B, que controla sua variação temporal. A razão para isso é que o afastamento da geometria riemanniana é medido precisamente por essa variação. É importante notar que o raio  $A(t)$  admite, graças a essa dependência funcional de  $\Omega(t)$ , a configuração eterna (isto é, não singular).

É possível, pictoricamente, representar a evolução desse Universo associando-o a um gás contido em uma caixa que dispõe de um pistão capaz de fazer variar o seu volume, passando por várias fases:

- fase 1: graças à instabilidade do vazio, pequenas perturbações (representadas simbolicamente por um pistão) crescem: um Universo vazio começa a colapsar, o seu volume  $V$  decresce com lentidão.
- fase 2: quando o Universo atinge seu volume mínimo  $V_0$ , a aceleração do pistão é máxima.
- fase 3: atingindo o volume mínimo  $V_0$ , a força sobre o pistão inverte sua direção, o espaço-tempo começa sua fase de expansão, a princípio muito rapidamente e, com o passar do tempo mais lentamente.
- fase 4: o Universo continua sua lenta expansão.

Enquanto as fases 1 e 4 têm duração muito grande, as fases 2 e 3 ocorrem muito rápido. Tudo se passa como se o Universo, ao se aproximar da vizinhança do seu volume mínimo,

sofresse um sobressalto, de curtíssima duração.

Definimos assim, por convenção, o ponto  $t = 0$  como correspondente ao momento de máxima condensação ou raio mínimo. Vemos na Figura 8 que a função  $\Omega$  se torna uma constante longe de  $t = 0$ . Da Figura 8-B conclui-se que a variação rápida de  $\Omega(t)$  em torno da origem  $t = 0$  sustenta a afirmação de que a estrutura wist se encontra limitada temporalmente a uma pequena fase da história do Universo, no seu ponto de máxima condensação. O campo  $\Omega$  passeia pelo Universo, controlando sua geometria, como um pulso variável no tempo e de amplitude máxima centrada em torno da origem  $t = 0$ , determinando o instante de transição da fase colapsante à fase expansiva. Tudo se passa como se uma onda espacialmente homogênea preenchesse todo o Universo, caminhando do infinito temporal passado (riemanniano) para o infinito temporal futuro (riemanniano), espalhando-se nessas regiões assintóticas, tendo concentrada sua energia em torno do ponto  $t = 0$ . A esse pulso temporal, chamamos de "wiston". Ele induz e controla a variação estrutural da geometria, permitindo a passagem de uma configuração riemanniana a outra, através de uma ponte geométrica da forma Weyl integrável.

Curiosamente, além da solução wist descrita acima (ver figuras 8-A e 8-B) é possível construir uma outra solução, chamada antiwiston e que representa uma configuração temporalmente invertida (ver figura 8-C). Aqui aparece uma particularidade notável desse modelo: como a energia dos wiston e antiwiston não depende de  $\Omega$ , mas sim de seu quadrado, concluímos que ambas as configurações geram a mesma evolução temporal para o raio do Universo (ver figura 8-D).

Essa invariância sob a transformação de inversão temporal, em que se transforma cada momento de tempo  $t$  em seu oposto  $-t$ , teria profundas repercussões filosóficas sobre a direção temporal na qual a evolução ocorre, não fossem certas particularidades envolvendo o comportamento das flutuações dos vácuos dos diferentes campos físicos. Isso nos fará penetrar a questão da cosmogonia, a saber: qual a origem da matéria? No mesmo instante, devemos procurar responder à pergunta: é um Universo eterno instável?

## **A eternidade é instável?**

Em primeiro lugar, é preciso procurar esclarecer um pouco melhor qual o significado da questão sobre a instabilidade do Universo interpretando-a à luz do que examinamos até agora. Um Universo tão simétrico quanto o de Friedmann pode ser considerado o ponto final de configurações anteriores, menos simétricas, que teriam dissipado suas irregularidades por algum processo físico, como no caso do Universo de Kasner e de suas anisotropias espaciais. Ou, então, o que é mais aceito, pode ter tido uma origem, num tempo finito ou infinito, sendo projetado diretamente nesse estado.

A análise dessa questão nos permite considerar o contexto em que devemos situar nossa pergunta. Sabemos que um Universo homogêneo e isotrópico pode sofrer perturbações, pequenas alterações em suas propriedades geométricas — possivelmente induzidas por flutuações materiais aleatórias, de diferentes características, não necessariamente preservando as simetrias exibidas na geometria original. Isso significa que, sobre a estrutura friedmanniana considerada como básica, pequenas perturbações podem ocorrer, induzindo desvios não somente em sua condição espacial homogênea, como também em sua isotropia. Se esses desvios crescessem fora de controle, isto é, se pequenas flutuações da geometria não tivessem limite, um Universo eterno certamente deixaria de ser homogêneo em algum momento ulterior.

A mesma análise se aplica às flutuações de entropia e de densidade da matéria. Se essas pudessem crescer sem controle, um Universo eterno conduziria ao paradoxo de conter uma quantidade infinita de matéria e de entropia — com as dificuldades óbvias de tratamento formal que daí decorreriam. Esta é, simplificada, talvez a maior dificuldade que se apresenta a todos os modelos que propõem um Universo não singular, eterno: como controlar suas perturbações, como inibi-las, ou melhor, como estabilizá-las? O cenário wist consegue resolver a questão de um modo particularmente simples e elegante.

## ***Cosmogonia: a criação da matéria***

No cenário wist, o estofamento primordial do Universo é o espaço-tempo vazio, com uma geometria caracterizada por duas quantidades: uma estrutura física complexa (a métrica) através da qual se determina todo intervalo de espaço e de tempo, e o controlador das unidades fundamentais de medida, que chamamos de campo  $\Omega$ . É com esses ingredientes que devemos criar as diferentes formas de matéria e energia.

Na gravitação efetiva, no modelo wist, o vazio minkowskiano é instável. Eventuais flutuações — que poderiam ser imputadas ao princípio de incerteza, ou a uma origem primordial (o Vazio e suas microperturbações projetariam no real a idealizada configuração minkowskiana) — crescem. São elas, pura geometria vazia de matéria e energia, que constituirão a fase inicial colapsante de uma configuração friedmanniana. Essa fase termina com o Universo atingindo seu raio mínimo. A partir daí, o Universo inicia um processo de expansão.

Tal estrutura seria completamente simétrica no tempo, descrevendo uma bolha vazia contraindo e inflando no nada, não fosse pelo comportamento desigual dos estados de vácuo dos diferentes campos físicos que descrevem a matéria nas fases de colapso e expansão. Em sua fase colapsante, a interação do wiston com o vácuo dos campos de matéria induz à

supressão, à atenuação exponencial de qualquer flutuação. É precisamente essa propriedade que permite a estabilidade desse Universo eterno.

Embora desejável, a eficiência estabilizadora dessa fase — fosse ela válida ao longo de toda a história da fase expansiva subsequente — não permitiria criar forma alguma de matéria, e, conseqüentemente, o Universo vazio não descreveria nosso cosmo atual. Entretanto, e esta é a parte mais importante desse cenário, ao passar à fase expansiva, o comportamento da interação do vazio de matéria com o wiston se altera radicalmente, pois durante a expansão as flutuações da matéria crescem. A criação de substância é tão rápida aí, que logo a densidade de energia da matéria recém-criada passa a dominar a evolução do Universo. A matéria forma, a partir de então, o verdadeiro controlador da evolução da geometria do espaço-tempo, atingindo aí um comportamento típico do antigo padrão friedmanniano.

Como o processo ocorre na vizinhança do raio mínimo, isto é, quando as energias envolvidas são elevadas, a matéria criada se comporta como uma sopa quente de partículas sem massa. É possível então interpretar (tendo, porém, a atenção de não esquecer o verdadeiro significado geométrico desse processo) essa situação como o decaimento, a transformação do campo  $\Omega$ , isto é, a transferência de sua energia para a matéria.

Quebra-se assim a prévia simetria colapso/expansão, produz-se entropia, e a direção temporal ganha um significado maior: a evolução cósmica, da qual induzimos o tempo cósmico, aponta na direção da evolução termodinâmica, os processos ocorrem na tentativa de aumento entrópico. Desta análise devemos reter que a matéria, qualquer forma de matéria, passa a existir graças à instabilidade do vácuo induzida pela sua interação com o controlador da geometria — o wiston "omega" — na fase expansiva do cosmo.

### ***O vazio é absolutamente instável?***

Já discutimos antes dois modelos — um quântico e outro clássico — de instabilidade do vazio. Em ambos os casos, nos limitamos a modelos específicos, nos quais o vazio é definido como um possível estado de uma série de configurações fisicamente realizáveis. Pode-se imaginar que uma descrição tão limitada não fosse a mais genérica descrição do vazio. Antes de esclarecermos a dúvida, gostaria de lembrar uma anedota que o cientista russo Yakov B. Zeldovich gostava de contar em uma tentativa popular de descrever o vácuo quântico.

Um jovem entra em uma lanchonete e pede um sorvete. O dono lhe pergunta: "Que cobertura o senhor deseja?" "Nenhuma, não quero cobertura, só o sorvete de baunilha", retruca o rapaz. "Sim", continua o dono, "entendo; mas que cobertura o senhor não quer que eu coloque em seu sorvete: o senhor não quer cobertura de *marshmallow* ou não quer cobertura de chocolate?"

A anedota exemplifica bem a questão da descrição do vácuo: ele só pode ser definido em relação a um certo espectro de estados possíveis, dos quais o vácuo é um particular caso. Não é possível definir o vazio absoluto sem referência a possíveis estados físicos acessíveis. Isto é, ao tratar o vazio como um estado realizável, é preciso *a priori* introduzir uma ordem formal na qual outros estados fisicamente possíveis poderiam ser ocupados.

Disso decorre que a questão da instabilidade do vácuo só pode ser efetivamente examinada à luz de um dado modelo físico. Alguém poderia imaginar que a questão de sua estabilidade

deveria admitir uma resposta absoluta se analisada em relação a todas as teorias acessíveis. Eu deixaria para o leitor a tarefa de examinar as dificuldades formais que tal definição contém. Acrescentaria aqui somente um comentário sobre a inevitabilidade, neste último caso, de se cair numa espécie de armadilha formal, típica de estruturas totalizantes, tal como evidenciada por Gödel em sua análise da impossibilidade de demonstrar a autocoerência de sistemas lógicos.

### ***Universo eterno: clássico ou quântico?***

Um dos legados da matematização da natureza consiste na aceitação de que, se dois processos físicos, de aparências distintas, são descritos pela mesma equação, então eles podem ser identificados. Essa identificação pode aparecer sob forma de equivalência estrutural ou até mesmo ir mais profundamente numa caracterização comum, única. O cenário eterno que apresentamos acima como parte da estrutura wist do mundo é descrito por uma equação de evolução do seu fator de escala  $A(t)$ , controlado pela estrutura geométrica  $\Omega$ , como se essa fosse um campo de matéria composta por substância extremamente rígida, um fluido, cuja relação entre densidade de energia  $\rho$  e pressão  $p$  é dada pela expressão extremal ultrarelativística  $p = \rho$ . Entretanto, a mesma equação que controla o raio do Universo  $A(t)$  pode descrever, numa aproximação semiclássica, o efeito de campos quantizados gerando o mesmo modelo cosmológico.

Concluimos então que tanto a criação clássica quanto a quântica podem ser interpretadas como produtoras de uma mesma realidade, este Universo, sob olhares distintos, mas equivalentes, de suas formulações teóricas. A identificação parece eliminar uma longa discussão sobre a questão da origem do mundo e apontar numa direção comum na qual tudo-que-existe — isto é, espaço, tempo, matéria e energia — se interpreta como flutuação do "vazio". Esse estado fundamental, prenhe de um Universo, é o principal foco de nossa atenção. É ele que devemos examinar meticulosamente, e é essa a tarefa que a cosmologia nos propõe.

---

<sup>1</sup> A demonstração dessa afirmação — ainda não completamente realizada — foi deixada, por Heráclito, para as gerações subsequentes.

<sup>2</sup> Compare com a visão de Dirac, que comentamos anteriormente.

<sup>3</sup> Ver trabalho de Zeldovich e Vilenkin

<sup>4</sup> Se apresento aqui essas dificuldades não é com o objetivo de exibir uma visão negativa, de desprestígio, da cosmologia junto às demais práticas científicas. Bem ao contrário, creio que ela tem o nobre mérito de explicitar, em sua prática, as dificuldades latentes em toda ciência, a racionalidade imposta ao mundo ou por ele exposta.

<sup>5</sup> Há um número grande de propostas descrevendo um Universo que passa de uma fase colapsante à atual fase de expansão. Escolhi apresentar um cenário que se fundamenta na transformação da geometria ao longo do tempo não porque o considere mais realista que os demais, mas somente porque ele requer uma análise da dependência da geometria do Universo em relação ao processo de expansão — uma propriedade que a um só tempo se adapta à cosmologia de Dirac e coloca em relevo uma vez mais a questão cosmológica original de Einstein.