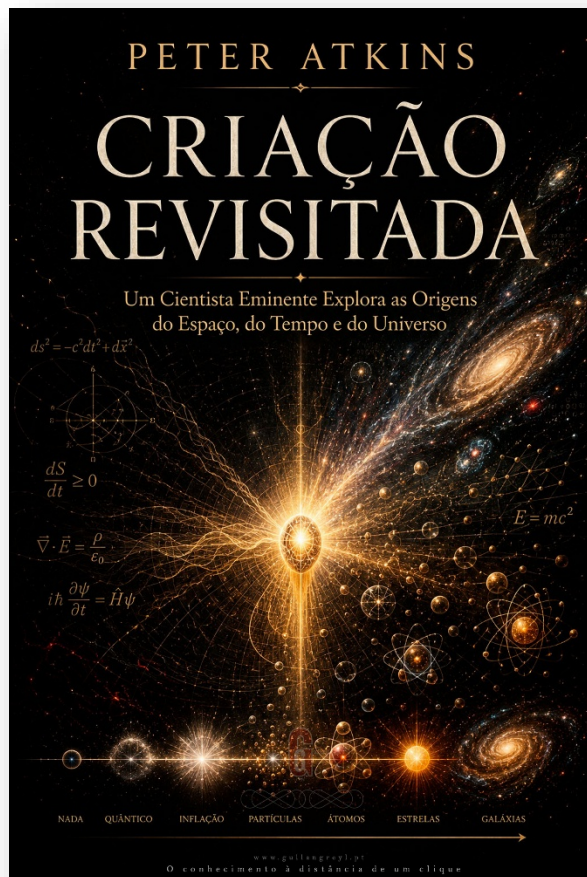


criação revisitada

Um Cientista Eminente Explora as Origens do Espaço, do Tempo e do Universo



Autor: Peter Atkins

Edição e Preparação Digital: Gullan Greyl

Edição Original: The Creation, 1981.

Edição portuguesa concluída em 15-08-2025



Livroteca Gullan Greyl

Sinopse

Em *Criação Revisitada*, Peter Atkins regressa a uma das perguntas mais antigas e incendiárias da humanidade: como pode existir um Universo sem que seja necessário invocar uma intervenção exterior? Com uma mistura rara de radicalidade científica e escrita quase poética, Atkins conduz o leitor até às origens do espaço, do tempo, da matéria, das forças e da consciência, defendendo que nada existe que não possa, em princípio, ser compreendido. O seu método é implacável: despir as aparências, reduzir a complexidade ao seu núcleo mais simples e perguntar se, no fundo, a criação exigiu realmente algum criador.

A viagem começa com aquilo que parece óbvio — moléculas, átomos, estrelas, elefantes, homens — para mostrar que a complexidade pode emergir de cadeias de simplicidade. A vida, a evolução, a percepção, a ação, a arte e até o pensamento são apresentados como manifestações de processos físicos fundamentais: energia que se dispersa, estruturas que surgem localmente, ordem que aparece como exceção temporária dentro de um movimento mais vasto em direção ao caos. A pergunta deixa de ser “quem fez isto?” e passa a ser “que mínimo de condições permite que isto surja?”.

À medida que avança, Atkins mergulha no espaço-tempo, na geometria, na dimensionalidade do Universo, na natureza da luz, das partículas, da gravidade e das forças. O livro propõe uma visão em que matéria e energia são expressões da própria estrutura do espaço-tempo, e em que a consciência emerge como uma das formas mais subtis desse desenrolar cósmico. Depois, no ponto mais ousado da obra, entra a questão da matemática: por que razão ela funciona tão bem como linguagem do real? Talvez, sugere Atkins, porque a estrutura profunda da matemática e a estrutura profunda do Universo não sejam apenas semelhantes, mas intimamente aparentadas.

Criação Revisitada é uma travessia intelectual até ao limite da explicação científica: do nada absoluto ao surgimento do tempo, do espaço, das partículas, das estrelas, da vida e da mente. Um livro provocador, lúcido e vertiginoso, onde a criação deixa de ser narrada como milagre e passa a ser pensada como possibilidade extrema: o Universo a tropeçar na existência, por acaso, a partir de quase nada — e, depois, a despertar em nós para se interrogar sobre a sua própria origem.

Esta tradução foi depurada segundo o princípio:
“Afinar o Instrumento sem Alterar a Melodia”
com apoio de Inteligência Artificial enquanto sistema de amplificação,
organização e clarificação cognitiva.
O objetivo não foi apenas traduzir, mas tornar o texto mais claro, coerente,
imersivo e diretamente experienciável, sem alterar a sua essência.

Gullan Greyl

*Não se trata de saber mais,
mas de ver melhor*

Índice

Prefácio.....	1
CAPÍTULO 1.....	3
Coisas Óbvias.....	3
CAPÍTULO 2.....	15
Por Que é Que as Coisas Mudam	15
CAÍTULO 3.....	32
Como ss Coisas Mudam	32
CAPÍTULO 4.....	51
Onde as Coisas Mudam	51
CAPÍTULO 5.....	71
Calculando Coisas	71
CAPÍTULO 6.....	94
Criando Coisas	94
CAPÍTULO 7.....	107
Coisas Criadas	107
Bibliografia.....	115
Notas.....	123

CRIAÇÃO REVISITADA

*Um Cientista Eminente
Explora as Origens do Espaço,
do Tempo e do Universo*

Peter Atkins

Prefácio

A minha primeira visita à Criação teve lugar em 1981. Nessa altura, sustentava a convicção de que não existe nada que não possa ser compreendido, e que o caminho para essa compreensão consiste em despir as aparências até expor o núcleo, que é sempre de uma simplicidade inigualável. Expliquei então que seguiríamos um percurso onde nos depararíamos com perguntas muito simples e, mais importante ainda, descobriríamos que essas perguntas têm respostas igualmente simples. Pretendi demonstrar nessa altura, como pretendo demonstrar nesta visita de regresso, que é possível pensar de forma racional acerca daquilo que muitos consideram estar para além de qualquer explicação — como os processos envolvidos na criação do universo e o surgimento da consciência no seu seio.

O meu objetivo nessa primeira visita foi defender que o universo pode surgir sem qualquer intervenção, não havendo necessidade de invocar a ideia de um Ser Supremo numa das suas inúmeras manifestações. Aceitava então, como aceito agora, que qualquer pessoa que seja religiosa, num certo sentido, dificilmente será persuadida por argumentos como os meus. A minha intenção não era, nem é agora, causar ofensa nesse sentido. No entanto, houve quem se sentisse ofendido, e suponho que uma nova geração se sentirá novamente com esta revisão.

Pude discernir duas variedades de ofensa, que provavelmente se repetirão. Uma era a reação previsível dos que consideram que as grandes questões sobre as quais me debruço são demasiado delicadas para serem pisadas pelo homem: para eles, a ciência é uma crosta e o espírito humano a pele sensível que se deve deixar repousar em paz, sem ser beliscada. Contudo, não abduco da visão de que o cérebro humano é um instrumento de poder ilimitado e de que o método científico (permitindo o seu desenvolvimento cauteloso) é uma técnica de aplicabilidade ilimitada e (especulativamente) de sucesso igualmente ilimitado.

A outra forma de ofensa brotava nos corações dos próprios cientistas. Consideravam, de forma explícita ou interior, que a minha aparente extensão imprudente do pensamento científico vigente transgredia os limites da propriedade. A todos eles só posso dizer que procurei, nas minhas palavras, despertar nos meus leitores leigos o sentimento de poder que reside na nossa nobre busca intelectual, e procurei mostrar — ao mesmo tempo que sublinhava o que é especulativo, e admitia livremente que quase tudo a partir do Capítulo 5

pertence a essa categoria — que as questões que, presumo, eles próprios consideram grandiosas, talvez possam ser resolvidas dentro de um paradigma de ciência reconhecível.

Existem duas alterações principais nesta revisão. Reescrevi em grande parte as páginas esquerdas de comentário, atualizando-as e acrescentando esclarecimentos adicionais sempre que isso esteve ao meu alcance. Acrescentei também um novo capítulo que explora aquilo que considero ser talvez a mais profunda de todas as questões: por que funciona a matemática. É nesta questão, creio eu — onde as gêmeas Amazonas da consciência e da existência física se fundem — que encontraremos a resolução última do infinitamente profundo.

Para concluir, devo admitir que me aproximo do limite da minha própria compreensão nas especulações que envolvem e permeiam os capítulos finais (a partir do Capítulo 5). Intenciono que esses capítulos sejam apenas passagens impressionistas que transmitam aquilo que penso poder vir a ser a forma geral da resolução das questões que têm inquietado e impulsionado a humanidade desde que caiu, atônita, das árvores. A verdadeira explicação — presumivelmente compreensível — destas matérias só estará disponível quando versões matematicamente austeras das mesmas forem alcançadas. Isso, lamento, está para além de mim.

P.W.A
Lincoln College
Oxford
1992

CAPÍTULO 1

Coisas Óbvias

LEVÁ-LO-EI NUMA VIAGEM DA MENTE. É UMA VIAGEM DE compreensão, que nos transporta até aos limites do espaço, do tempo e da própria compreensão. Nessa viagem, defenderei que nada existe que não possa ser compreendido, que nada há que não possa ser explicado, e que tudo é extraordinariamente simples.

Grande parte do universo não necessita de qualquer explicação. Os elefantes, por exemplo. Uma vez que as moléculas aprendem a competir e a criar outras moléculas à sua própria imagem, elefantes — e coisas que se assemelhem a elefantes — acabarão, inevitavelmente, por ser encontrados a vaguear pelos campos. Os pormenores dos processos envolvidos na evolução são fascinantes, mas irrelevantes: moléculas que competem, que se replicam e que dispõem de tempo acabarão inevitavelmente por evoluir.

Algumas das coisas que se assemelham a elefantes serão homens. Eles são igualmente irrelevantes. É inegável (ainda que não necessariamente previsível) que as moléculas, uma vez que tropeçam na reprodução, acabarão, algures (aqui, por acaso), por se aglomerar em corporações com a forma e as funções de homens, e que esses homens serão também um dia encontrados a vaguear

por algum campo. A sua função especial, mas não significativa, é a de poderem comentar a natureza, o conteúdo, a estrutura e a origem do universo e, como passatempo, inventar e desfrutar de fantasias comunicáveis.

As moléculas equipadas para competir, sobreviver e reproduzir-se são também destituídas de significado. É inegável que podem surgir com a mistura certa de ingredientes, uma plataforma estável e quente, e tempo.

As pequenas moléculas evoluem para maiores comendo moléculas mais pequenas, embora nem sempre seja claro qual é o comensal e qual é a presa. As moléculas pequenas comem por impacto, e o que resulta das suas colisões é, por vezes, uma molécula maior — mais átomos encadeados — ou um átomo da molécula original substituído por um conjunto de átomos na nova.¹ Por vezes, uma molécula quase completa permanece incorporada na rede de átomos da molécula original, como uma mosca numa teia. Os vencedores desses jantares podem, por sua vez, passar a outros, e os comensais bem-sucedidos desenvolvem formas mais sofisticadas de apanhar refeições. Com o tempo, a sofisticação torna-se tal que os verdadeiramente bem-sucedidos mantêm os menos bem-sucedidos em rebanhos, e o ato de devorar passa a ser regulado por especulações filosóficas e económicas.

Mesmo as pequenas e pouco sofisticadas moléculas primitivas são insignificantes. É inegável que podem surgir, desde que os átomos apropriados estejam disponíveis, pois as pequenas moléculas não são mais do que uns poucos átomos colados entre si

— e os átomos tendem a colar-se uns aos outros. Se houver átomos, inevitavelmente haverá moléculas; e se houver moléculas sobre plataformas húmidas e quentes, inevitavelmente haverá elefantes.

Tenho a certeza de que já percebe para onde estamos a caminhar. Imagine que lhe propunha desenhar um universo. Se fosse onnipotente, poderia traçar uma especificação detalhada de todas as criaturas, grandes e pequenas. Se estivesse a conceber o nosso universo atual, incluiria certamente uma especificação para um elefante. Mas os elefantes revelaram-se inevitáveis, dada a existência de moléculas capazes de competir e reproduzir-se, e sujeitas à história ambiental deste planeta. Portanto, se não estivesse com pressa, uma abordagem muito mais simples seria especificar um conjunto de moléculas combativas, reuni-las, e depois sentar-se e esperar. Ao fim de algum tempo, os seus descendentes seriam elefantes — e homens.

Ora, moléculas complexas emergem de outras mais simples, que habitam planetas; e assim, a especificação poderia ser ainda mais simplificada. E essa simplificação pode ser, por sua vez, simplificada: pois se especificar apenas os elementos — e talvez mais algumas coisas — mais cedo ou mais tarde surgirão elefantes.

A questão que agora se coloca é a seguinte: Imaginemos que prefere ser um criador infinitamente preguiçoso — qual é o *mínimo* de especificações com que se pode safar? Será realmente necessário o trabalho de especificar uma centena, mais ou menos, de tipos diferentes de átomos? Será possível especificar apenas um

pequeno punhado de coisas que, existindo nas quantidades apropriadas, conduzam primeiro aos elementos e depois aos elefantes? Poderá o universo inteiro ser reduzido a uma única coisa que, se for especificada de forma adequada, conduza inevitavelmente aos elefantes? Poderia você (sendo infinitamente preguiçoso) evitar, de facto, especificar ou criar até mesmo essa coisa? Se pudesse (e vamos ver que quase se pode), então não haveria lugar algum para si na criação do seu universo.

A nossa tarefa deve agora estar clara. Temos de iniciar o caminho rumo ao zero absoluto de envolvimento criativo na criação, ao zero absoluto de intervenção. A única pista que temos no início é que a resposta final será quase certamente de extrema simplicidade, pois só o perfeitamente simples pode existir enquanto todos os agentes dormem (ou simplesmente não estão presentes). Isto sugere que devemos procurar no universo as pegadas da sua simplicidade subjacente. À medida que as procuramos, devemos sempre lembrar que a complexidade de comportamento e aparência pode ser uma ilusão, e aquilo que percebemos como complexidade pode ser o resultado de cadeias de simplicidade.

É aqui que começamos. A única fé de que precisamos para a viagem é a crença de que tudo *pode* ser compreendido e, no fundo, que não há nada para explicar.

A nossa apreciação da natureza do universo advém da nossa capacidade de notar, observar e refletir sobre as coisas que ele contém. Notamos, por exemplo, que tudo é feito do mesmo material. Os animais comem plantas e bebem rios. As plantas

“comem” montanhas. Quando os animais morrem, contribuem para as montanhas futuras e para outras plantas. As montanhas surgem dos planetas, que são acumulações de detritos de estrelas mortas. Tudo é feito do mesmo material, e quanto mais longe olhamos, menos provável parece que haja qualquer outro material diferente envolvido noutros lugares. Somos pó galático, e ao pó galático regressaremos.²

Notamos que existe um universo. E quero dizer com isto muito mais do que uma simples coleção de estrelas a flutuar num vazio que nos contém. Uma das maiores descobertas foi que o universo está aberto à medição, e que há significado na contemplação da sua vastidão e da sua idade. Há uma revolução maior na realização de que o universo pode ser medido do que na própria medição, pois a existência da duração confronta-nos com o problema de um limite para o tempo.³ Reconhecer este problema é um passo para a compreensão, porque se conseguirmos entender o que significa estar antes do início do tempo, estaremos mais perto de compreender a natureza do próprio tempo. A chave para a compreensão reside na identificação e apreensão do mais primitivo.

Quer consideremos o universo observável grande ou pequeno, isso é irrelevante. À escala do tamanho humano, é certamente vasto. Mas o ser humano não é intrinsecamente significativo, e, por isso, não o podemos considerar um critério relevante de dimensão. A vastidão do universo é domada se tivermos confiança para pensá-lo numa escala suficientemente ampla: uma atitude mental suficientemente grandiosa dissipa o assombro que a vastidão inspira. O assombro entorpece. Imaginemos o universo como um

sopro de pó com cerca de um metro de diâmetro. Cada grão de pó é uma galáxia. Vivemos junto de uma estrela bastante comum, que pertence a uma galáxia também bastante comum, localizada algures numa zona insignificante desse sopro de pó.

Todas as noites nos é mostrado que o universo teve um princípio, mas a maioria de nós apenas lamenta, aproveita ou desfruta da escuridão sem perceber que ela traz consigo conhecimento.

Um instante de reflexão é suficiente⁴ para mostrar que a escuridão da noite elimina metade da eternidade. Se o universo fosse infinito e eterno⁵, então, qualquer que fosse a direção para a qual olhássemos, veríamos a luz de uma estrela. Cada ponto do céu seria uma estrela, e o céu inteiro seria tão brilhante quanto a superfície do Sol. Mesmo durante o dia, o Sol seria indistinguível do brilho do seu fundo. Mas, à noite, o céu é escuro, e existe um entremeio entre as estrelas; portanto, o universo não pode ser simultaneamente infinito e eterno. Eis um exemplo de como a observação de um fenómeno banal poderia ter inspirado uma revolução.

Uma inteligência mais aguçada poderia extrair mais conhecimento da escuridão. Poderia perceber como uma expansão geral do universo pode esticar a luz das estrelas distantes e diminuir a sua intensidade. Tal como aconteceu, os astrónomos viram essa expansão através dos seus telescópios antes que uma mente mais aguçada tivesse cortado o véu da ignorância para extrair dela mais conhecimento. Viram as galáxias a afastarem-se, a nuvem de pó a expandir-se. Nada é mais natural do que seguir essa expansão de

volta ao passado e imaginar a nuvem de pó a emergir de uma explosão no seu núcleo. Essa explosão foi a criação.

Mas o que foi criado, afinal? O que é que está a expandir-se? Serão as galáxias a espalharem-se pelo espaço? Mas então, o que é o espaço? O que é que ele ocupa? De onde veio? Será o próprio espaço que está a expandir-se? Terá sido apenas o espaço que foi criado? E para onde se está a expandir o espaço?

Reparamos, pensamos, que o universo não é apenas espaço. Nós, pelo menos, estamos nele, e há também outra matéria. Uma compreensão da natureza do mundo deve encontrar nele lugar para os átomos e (num sentido geral) para os elefantes, para a substância e (num sentido cauteloso) para o espírito. De algum modo, a matéria teve de ser criada a partir de algo semelhante ao nada. Felizmente, porém, as nossas exigências quanto à complexidade da criação original diminuíram à medida que a investigação científica foi descascando as camadas da cebola a que chamamos estrutura da matéria. Já não temos de explicar a geração dos elefantes, com toda a sua complexidade interna. Agora, o problema é a geração dos componentes dos átomos.⁶

Sabemos que os átomos existem porque os podemos ver. Versões sofisticadas de microscópios fornecem-nos imagens de átomos⁷ e permitem-nos fotografar moléculas. Podemos abrir os átomos e observar o seu interior.⁸

Os átomos são muito grandes: têm de o ser, porque contêm imensa coisa no seu interior. É verdade que muitas vezes pensamos neles como muito pequenos; mas isso acontece apenas porque nós somos muito grandes (e pela mesma razão). A verdadeira dimensão de um átomo pode ser imaginada se pensarmos que ele se expande até que o núcleo no seu centro atinja o tamanho de um homem; nesse caso, o próprio átomo seria uma névoa tênue de eletrões espalhada por uma esfera de 100 quilómetros de raio.⁹

A difusão das partes exteriores dos átomos revela a fraqueza do controlo do núcleo central sobre os eletrões que o rodeiam. Essa fraqueza está na base da riqueza da vida. Significa que os átomos podem ser arrancados das moléculas com uma persuasão suave, e que novas disposições de átomos podem emergir a partir de antigas. Por causa dessa fraqueza, as estruturas não estão congeladas em arranjos imutáveis, mas podem responder ao ambiente. Há responsividade nas estruturas fracamente ligadas dos átomos e das moléculas, e a mudança pode ocorrer quando o ambiente provoca suavemente. Se as estruturas fossem mais rígidas, estímulos como explosões nucleares seriam a única forma de provocar mudança, e nenhuma das subtilidades da percepção e da consciência poderia ter surgido. A evolução teria sido tão destrutiva quanto construtiva.

Ao mesmo tempo que a fragilidade da estrutura molecular permite à matéria responder às suaves exigências do seu ambiente e evoluir em subtilidade ao adquirir complexidade, continua a contribuir para a complexidade cultural da espécie. Enquanto as moléculas no organismo puderem responder às influências do meio,

o organismo poderá observar. As consequências dessas observações são as percepções e invenções da mente, que, por sua vez, são manifestações de deslocamentos de átomos e modulações da estrutura molecular no cérebro.

A sensibilidade da resposta tem como desvantagem a transitoriedade. Pequenos desvios do equilíbrio são suficientes para matar. O calor que aquece pode, além de um certo limiar, esquentar e queimar. Por isso é tão fácil morrer.

Enquanto as partes exteriores dos átomos são regiões governadas por forças suaves, a existência de um núcleo mostra que há forças mais fortes a operar no centro do átomo. Só uma força muito mais poderosa consegue manter os componentes do núcleo unidos num feixe denso. É por isso que a alteração nuclear é energética e economicamente mais vigorosa do que a química, e por que as tímidas tentativas dos alquimistas falharam em transmutar os elementos.

A força forte que liga o núcleo deve ter um alcance muito curto, pois, caso contrário, todo o universo já teria sido enrolado numa única massa. Além disso, embora a força domine os pequenos núcleos dos átomos leves, no urânio, com algumas centenas de partículas concentradas no núcleo, está a perder controle, e o núcleo tende a desfazer-se. O modo como isso acontece — de forma controlada ou descontrolada — determina o nível de benevolência social do resultado.¹⁰

Os elefantes têm uma estrutura mais profunda: a sua agregação de moléculas.¹¹ As moléculas têm uma estrutura mais profunda: os seus átomos fracamente ligados. Os átomos têm uma estrutura mais profunda: uma nuvem de eletrões e, no coração, um núcleo. Os núcleos têm uma estrutura ainda mais profunda: o aglomerado de prótons e neutrões fortemente ligados entre si. A cebola será infinita?

Parece que não. Uma camada a mais é conhecida, e é encontrada quando se tenta abrir prótons. Descobre-se que não é possível (o que é significativo), mas pode-se discernir no seu interior os seus constituintes, os quarks. Tal como os eletrões, os quarks parecem não ter extensão espacial nem uma estrutura mais profunda: têm carácter sem extensão e são substância sem interior. Aqui devemos estar à beira da simplicidade última, quase no fim da cebola, pois qualquer coisa com estrutura é demasiado complexa para ser considerada verdadeiramente simples.¹² A complexidade, mesmo a mais rudimentar (como a extensão no espaço), deve ser um atributo da combinação de simplicidades, e não algo que possa surgir já totalmente formado.

Creio que devemos fazer aqui uma pausa e avaliar a nossa posição. A receita do universo está a caminho de ser simples. Parece que precisamos de quarks, eletrões, talvez mais algumas coisas, e uma variedade de forças para manter tudo unido com vários graus de rigidez. No entanto, a receita continua a ser tanto demasiado complicada como insuficiente. É demasiado complicada porque exige a especificação e criação de pelo menos meia dúzia de atributos do universo, o que não é o que se entende por algo

extremamente simples. Além disso, até a sua aparente simplicidade é enganadora, pois esconde complicações por trás de nomes. Só quando soubermos o que palavras como “força”, “eletrão” e outras verdadeiramente representam poderemos reivindicar uma verdadeira compreensão.¹³ Os nomes são códigos; não devemos deixar que a familiaridade com eles se disfarce de entendimento.¹⁴

O caminho a seguir está claro. Devemos examinar o significado dos conceitos simples e familiares que entraram na explicação e que normalmente são dados como certos. Vou argumentar que a maioria dessas palavras está vazia de significado no nível mais profundo da compreensão, e que adquiriram um significado aparente para encapsular fenômenos e facilitar conversas. Tentarei mostrar que a maioria dos conceitos que, à primeira vista, parecem cruciais para a nossa compreensão do funcionamento do mundo podem ser deixados evaporar. Quando eles desaparecerem, deixarão para trás aquilo que devemos verdadeiramente e de forma útil considerar: ou seja, praticamente nada.

PRIMEIRA ORIENTAÇÃO

Estamos numa jornada para descobrir tanto a natureza última do universo como a maneira pela qual ele veio a existir. Adoto a visão de que a trama última deve ser de extrema simplicidade, e que a sua aparente complexidade e riqueza resultam do agrupamento de coisas primitivas em conjuntos. Também sustento que apenas as coisas mais simples poderiam ter surgido na criação, e, portanto, o trabalho de qualquer criador foi mínimo. Estou a desenvolver a opinião de que a única forma de explicar a criação é

mostrar que o criador não teve absolutamente nenhum trabalho a fazer, e por isso poderia tão bem não ter existido. Podemos rastrear o criador infinitamente preguiçoso, o criador totalmente livre de qualquer labor criativo, ao resolver as complexidades aparentes em simplicidades, e espero encontrar uma forma de expressar, no fim da jornada, como um criador inexistente pode ser permitido evaporar-se no nada e desaparecer do cenário.

Para chamar a atenção para as percepções proporcionadas pelo cotidiano e para mostrar como a complexidade aparente é, em última análise, simplicidade organizada, voltamo-nos agora para as causas da mudança. Vou argumentar que todas as formas de mudança, desde as mais rudimentares, como o arrefecimento, até às mais complexas, como a formação de opiniões, são irrompências no mundo percebido dos mesmos eventos primitivos. Veremos que todos os eventos à nossa volta e dentro de nós têm a mesma motivação: são movidos por um colapso sem propósito rumo ao caos.

CAPÍTULO 2

Por Que é Que as Coisas Mudam

A MUDANÇA ASSUME UMA VARIEDADE DE FORMAS. HÁ A MUDANÇA SIMPLES, como quando uma bola em movimento acaba por parar, ou quando o gelo derrete. Há mudanças mais complexas, como na digestão, no crescimento, na reprodução e na morte. Existe também aquilo que parece ser uma mudança excessivamente subtil, como na formação de opiniões e na criação ou rejeição de ideias. Embora diversa nas suas manifestações, a mudança tem, de facto, uma origem comum. Tal como tudo o que é fundamental, essa origem é perfeitamente simples.

A mudança organizada — o planeamento de um fim, como um vaso, uma colheita ou uma opinião — é impulsionada pelos mesmos fenómenos que fazem as bolas parar de saltar e o gelo derreter. Toda a mudança, defenderei eu, resulta de um colapso subjacente em direcção ao caos. Veremos que o que pode parecer-nos motivo e propósito é, na verdade, um decaimento desprovido de motivo e de propósito. As aspirações — e a sua concretização — alimentam-se do decaimento.

A estrutura profunda da mudança é o decaimento. O que decai não é a quantidade, mas a qualidade da energia. Explicarei o que

se entende por energia de alta qualidade, mas, por agora, pense nela como uma energia localizada e potente para provocar mudança. No decorrer do processo de provocar mudança, ela espalha-se, torna-se distribuída de forma caótica, como um castelo de cartas que desmorona, e perde a sua potência inicial. A qualidade da energia, mas não a sua quantidade, decai à medida que se espalha no caos.

Aproveitar o decaimento resulta não só em civilizações, mas em todos os acontecimentos do mundo e do universo para além dele. É o que explica toda a mudança observável, tanto no inanimado como no animado. A qualidade da energia é como uma mola que se desenrola lentamente. A qualidade declina espontaneamente, e a mola do universo desenrola-se. A qualidade degrada-se de forma espontânea, e essa espontaneidade da degradação impulsiona os processos interdependentes que se entrelaçam à nossa volta e dentro de nós, como as rodas dentadas interligadas de uma máquina sofisticada.

Tal é a complexidade deste engrenamento que, aqui e ali, o caos pode temporariamente recuar e a qualidade reacender-se, como quando se constroem catedrais ou se executam sinfonias. Mas estes são enganos temporários e locais, pois, nas profundezas do mundo, a mola desenrola-se de forma inevitável. Tudo é movido pelo decaimento. Tudo é movido por um decaimento sem motivo, sem propósito.

Como já dissemos, por “qualidade” da energia¹ entende-se o grau da sua dispersão. Energia de alta qualidade, útil, é energia

localizada. Energia de baixa qualidade, desperdiçada, é energia difusa de forma caótica. As coisas podem ser feitas quando a energia está localizada; mas a energia perde a sua potência para provocar mudança quando se dispersa. A degradação da qualidade é a dispersão caótica.²

Sustentarei agora que tal dispersão é, em última análise, natural, desprovida de motivo e de propósito. Ela ocorre de forma natural e espontânea, e, quando ocorre, provoca mudança. Quando é precipitada, destrói. Quando é articulada por cadeias de acontecimentos, pode produzir civilizações.

A naturalidade da tendência da energia para se espalhar pode ser compreendida imaginando uma multidão de átomos a agitarem-se. Energia localizada — energia numa região circunscrita — corresponde a um movimento vigoroso num canto dessa multidão. À medida que os átomos se agitam, transmitem a sua energia e induzem os vizinhos a agitarem-se também, e rapidamente a agitação se dispersa, como a ordem de um baralho misturado. É extremamente improvável que o canto original dessa multidão volte a agitar-se como antes, com o resto em repouso. Uma agitação aleatória, sem motivo, resultou numa mudança irreversível.³

Esta tendência natural para a dispersão explica processos simples como o arrefecimento de um metal aquecido. A energia do bloco — uma energia capturada nas vibrações vigorosas dos seus átomos — é transmitida para o meio envolvente. Agitações individuais podem fazer com que a energia seja transmitida em qualquer direção; mas, como há muito mais átomos no mundo

exterior do que no próprio bloco, é muito mais provável que, em qualquer momento posterior, a energia do bloco seja encontrada (ou perdida) dispersa.

O modelo também captura ilusões de propósito. Podemos pensar que existem razões pelas quais uma mudança ocorre e não outra. Podemos imaginar que há razões para mudanças específicas na localização da energia (como uma alteração estrutural, no desabrochar de uma flor); mas, no fundo, tudo o que existe é degradação por dispersão.

Suponhamos que, numa dada região, existem muito mais lugares onde a energia pode acumular-se do que noutra. Então, a agitação e os saltos aleatórios farão com que ela se concentre ali. Se a energia começou concentrada noutro local, será encontrada mais tarde num aglomerado na região onde as “plataformas” são mais densas. Um observador casual perguntará por que razão a energia “escolheu” ir para lá, concluirá que deve ter havido um propósito e tentará encontrá-lo. Nós, contudo, podemos ver que alcançar esse lugar não deve ser confundido com escolher ir para lá.

Mudanças de localização, de estado, de composição e de opinião têm todas, na raiz, a dispersão. Mas, se essa dispersão espalha energia para regiões onde ela pode ser encontrada de forma densa, cria-se a ilusão de mudança específica, em vez de mero espalhamento. No nível mais profundo, o propósito desaparece e é substituído pelas consequências de ter a oportunidade de explorar

ao acaso, descobrir locais densos e permanecer neles até surgirem novas oportunidades de exploração.

Os acontecimentos são manifestações de probabilidades dominantes. Todos os acontecimentos da natureza — desde o ricochetear de bolas até à concepção de deuses — são aspetos e desdobramentos desta ideia simples. Mas não devemos deixar de enfatizar a palavra probabilidade. A energia pode, por acaso, agitar-se de novo até à sua configuração original, e uma estrutura voltar a formar-se. A energia pode, por acaso, regressar do mundo exterior para dentro do bloco, e um observador ver um bloco frio tornar-se quente espontaneamente, ou um castelo de cartas voltar a erguer-se. Estas possibilidades são tão remotas que as descartamos como totalmente improváveis. No entanto, embora improváveis, não são impossíveis.

A simplicidade última que está na base da tendência para a mudança é mais eficazmente dissimulada em certos processos do que noutros. Enquanto o arrefecimento pode ser facilmente explicado como uma dispersão natural por agitação, os processos de evolução, de livre-arbítrio, de ambição política e de guerra têm a sua simplicidade intrínseca muito mais profundamente enterrada. Contudo, mesmo que esteja oculta, a mola de toda a criação é o decaimento, e cada ação é uma consequência mais ou menos distante da tendência natural para a corrupção.

A tendência da energia para o caos é transformada em amor ou guerra através da ação das reações químicas. Todas as ações são cadeias de reações. Desde o pensar até ao agir, seja simplesmente

no pensamento ou na resposta, o mecanismo em ação é a reação química.

No seu nível mais rudimentar, uma reação química é uma reorganização de átomos⁴. Átomos dispostos de uma forma constituem uma espécie de molécula, e átomos dispostos de outra forma, talvez com adições ou eliminações, constituem outra. Em algumas reações, uma molécula apenas muda de forma; noutras, uma molécula adota os átomos fornecidos por outra, incorpora-os e adquire uma estrutura mais complexa. Noutras ainda, uma molécula complexa é ela própria “devorada”, total ou parcialmente, tornando-se fonte de átomos para outra.

As moléculas não têm inclinação para reagir, nem para permanecer inalteradas. Não existe, naturalmente, tal coisa como motivo ou propósito a este nível de comportamento. Por que é que, então, as reações ocorrem? Também a este nível, portanto, não pode haver motivo ou propósito no amor ou na guerra. Por que ocorrem, então?

Uma reação tende a ocorrer se, no processo, a energia for degradada para uma forma mais dispersa, mais caótica. Cada disposição de átomos, cada molécula, está constantemente sujeita à tendência de perder energia à medida que o “empurrão” a transporta para os arredores. Se um aglomerado de átomos, por acaso, se encontrar numa disposição que corresponda a uma nova molécula, essa disposição transitória pode, subitamente, ser congelada em permanência, à medida que a energia libertada salta para longe. As reações químicas são transformações por infortúnio.

Os átomos estão apenas fracamente estruturados em moléculas, e explorações de rearranjos que resultam em reações são comuns. É por isso que a consciência já emergiu da matéria inanimada da criação original. Se os átomos tivessem sido tão fortemente ligados como os núcleos, a forma primitiva inicial da matéria teria ficado bloqueada em permanência, e o universo teria morrido antes de despertar.

A fragilidade das moléculas, porém, levanta questões. Por que é que o universo não colapsou já num lodo inerte e não-reativo? Se as moléculas estivessem livres para reagir sempre que tocassem num vizinho, o potencial do mundo para mudança teria sido concretizado há muito tempo.⁵ Os acontecimentos ter-se-iam desenrolado de forma tão aleatória e rápida que as ricas qualidades do mundo, como a vida e a sua própria autoconsciência, não teriam tido tempo de se desenvolver.

O surgimento da consciência, tal como o desabrochar de uma folha, depende de contenção. A riqueza — a riqueza do mundo percebido e a riqueza dos mundos imaginados da literatura e da arte, o espírito humano — é consequência de um colapso controlado, não precipitado.

A própria energia detém a chave da sua própria degradação⁶. As moléculas têm oportunidade de reagir quando se encontram, mas só o fazem efetivamente se os seus átomos estiverem suficientemente soltos para se reorganizarem em novas disposições e se exporem a oportunidades de infortúnio. Embora frágeis, as moléculas não são maleáveis.

Para explorar, os átomos das moléculas devem estar marginalmente soltos. São afrouxados se entrar energia na molécula e estimular a vibração, porque uma molécula que vibre intensamente é um aglomerado solto de átomos. E como entra a energia na molécula? Entra por acaso. Por acaso, a energia⁷ pode conseguir entrar e estar presente no momento em que as moléculas se encontram. Por acaso, um par de moléculas pode encontrar-se quando está provido com mais do que a média de energia. Então, os seus átomos podem vaguear e, ao vaguear, reagir.

Gostaria de fazer uma pausa neste ponto para resumir o argumento até agora. Vimos, pelo menos a nível molecular, como o caos tanto impulsiona como contém o mundo. O colapso no caos motiva a mudança, pois todos os acontecimentos naturais resultam da tendência para a dispersão. O caos também estabiliza a forma, porque é pequena a probabilidade de as moléculas terem energia suficiente para explorarem possíveis disposições alternativas. Somos ao mesmo tempo impelidos e contidos pelo caos: o caos é ao mesmo tempo a cenoura e a carroça.

Se tudo, tanto a estrutura como a mudança, são resultado de orquestrações casuais do caos, devem existir cadeias que ligam o superficial ao profundo. Gostaria de tentar indicar a sua natureza, senão a sua forma detalhada.

A evolução é reação por sedução. Moléculas complexas podem adquirir ainda maior complexidade por etapas, em vez de tentarem uma única paixão grandiosa. Uma molécula pode ser capaz de descartar alguns átomos para um parceiro congénial, apanhar

outros algures, e, eventualmente, encontrar um destino. Só é necessária uma pequena reorganização em cada passo, e por isso apenas um ligeiro afrouxamento é requerido em cada um. Como pequenos influxos casuais e abundâncias de energia são mais prováveis do que grandes, o processo global pode ocorrer muito mais rapidamente do que se fosse necessário chegar energia suficiente para haver reação de um só salto. Isto é reação por múltiplos infortúnios, reação a descer a ladeira escorregadia. Se a reação pode prosseguir torna-se então principalmente uma questão de logística, ou do fornecimento de pequenas moléculas no momento apropriado da “refeição”.

Todo o curso da evolução pode ser considerado uma dissipação engrenada e cooperativa de energia. Cada etapa da evolução, incluindo os passos que deram origem a moléculas complexas a partir de moléculas simples, a pessoas a partir do lodo, e os processos envolvidos quando as espécies são confrontadas com a competição, procede por dissipação.

As moléculas não tinham como objetivo a reprodução: tropeçaram nela. A acumulação de complexidade chegou ao ponto em que uma molécula estava tão estruturada que a sequência de reações a que podia estar sujeita, sob a pressão casual da dispersão, levou por acaso à formação de uma réplica.⁸ Essa molécula naturalmente tinha a mesma capacidade reprodutiva, e, mesmo que a primeira pudesse ter sido eliminada pela evaporação de uma poça, a descendente podia continuar a linhagem. Em cada etapa da replicação houve oportunidade para modificação, porque moléculas ligeiramente diferentes e mais pequenas estavam nas

proximidades e podiam ser incorporadas. Muitas dessas descendentes podem ter sido inviáveis, ou menos bem-sucedidas na replicação do que as suas ancestrais e irmãs; mas algumas foram mais bem-sucedidas e prosperaram até elefantes.

As percepções do mundo exterior desenvolveram-se em subtileza com a evolução da complexidade do corpo. Essas percepções, tal como as decisões de embarcar em atividades e as nossas reflexões sobre as nossas próprias atividades e as dos outros, são todas manifestações de reações. Interagimos com o mundo exterior à medida que a brisa dos acontecimentos move grupos de átomos especialmente sensíveis, moldados em olhos e ouvidos.

Como as reações são aspetos do caos, as percepções, decisões e reflexões são também, em última análise, impulsionadas por uma tendência subjacente para o caos. A aparente complexidade da consciência é o resultado da complexidade da interdependência das reações orientadas para este decaimento, e não há necessidade de a considerar como uma complexidade intrínseca embelezada por uma alma. O comportamento é a organização complexa de processos simples, e a estrutura complexa do cérebro é o mecanismo complexo que mobiliza a simplicidade para uma aparente complexidade. A estrutura assegura que processos químicos simples dentro das células do cérebro são coordenados num todo que é simultaneamente suficientemente complicado para ser rico em propriedades e suficientemente imprevisível para abranger a imaginação e a invenção.⁹

Tomemos a percepção. A sua essência é a aquisição de informação sobre acontecimentos externos ao portador do cérebro, e acontecimentos não totalmente externos, como a dor. Os corpos têm antenas — terminações nervosas — que respondem ao ambiente e captam informação. Estes sensores, agrupados em órgãos como os olhos, desencadeiam sinais para o cérebro. Na visão, por exemplo, uma molécula num olho é atingida pela luz, desenrola-se (a molécula muda de forma física dentro da proteína) e deixa de encaixar no seu lugar original¹⁰. A luz traz energia que afrouxa os átomos. Os átomos vagueiam, e no seu vaguear a energia dispersa-se. A molécula permanece congelada na sua nova forma, agora incompatível. A expulsão da molécula do seu lugar permite que outra molécula mude de forma, o que desencadeia outra reação. Essa reação desencadeia um pulso de corrente ao longo do nervo até ao próprio cérebro. O nervo ramifica-se, o pulso espalha-se por múltiplas células no cérebro e, em cada uma, a sua chegada resulta numa modificação química. As constituições das células determinam como respondem a futuros pulsos, e se enviam novos pulsos por alguns canais ou outros. E, eventualmente — talvez só passado uma década — a percepção de um acontecimento influencia uma ação.

Cada processo nesta cadeia é propagado de etapa em etapa através da agência sem motivo da dispersão caótica. A luz afrouxa a molécula, que depois se desenrola por infortúnio. A molécula é expulsa porque tem liberdade para vaguear e energia para perder. Uma reação ocorre quando a expulsão da molécula permite à molécula remanescente explorar novas disposições. O pulso elétrico é espremido ao longo do nervo por uma sequência de reações, cada

uma desencadeada pela anterior, e cada desencadeamento permite que moléculas vagueiem para novas disposições¹¹. As reações químicas na ramificação das células nervosas no cérebro são desencadeadas da mesma forma, assim como o prolongamento da corrente que ressoa durante anos pelo cérebro. Todos os processos na sequência, até, incluindo e estendendo-se para além da ação subsequente, são impulsionados pelo caos que libertam. Que depois riamos ou choremos, ou, a seu tempo, amemos, discutamos ou desesperemos, é determinado pela longa e complexa história de eventos, todos movidos pela dispersão.

Achei desconcertante que, para alguns, mesmo hoje, pareça que a riqueza das propriedades do cérebro, propriedades como perceber, recordar, agir, decidir e inventar, não possa ter emergido por si só, ou que tal riqueza não possa ser o desdobramento exterior de uma falta interior de motivo. É tão importante ver para lá da ilusão da complexidade até à simplicidade subjacente. Claro que talvez não consigamos rastrear os passos simples que constituem uma perceção, uma opinião ou que precedem ou trazem uma ação; mas, por baixo, não há dúvida que eles existem. Contudo, não gostaria que esta visão fosse tomada como eliminação do espanto da vida: deveria, antes, redirecionar esse espanto. O espanto que existe, na minha opinião, não deveria estar na benevolência e subtilidade de uma intervenção externa, pois isso conduz à intrusão desnecessária de um espírito e à invenção de uma alma. Deveria, em vez disso, estar no espanto pela constatação de que uma simplicidade subjacente pode ter manifestações tão gloriosas quando elaboradamente coordenada, e que tal coordenação pode crescer através da seleção evolutiva. A única alma imortal que o

homem tem é a impressão duradoura que deixa nas mentes de outros homens.

Não vemos uma coisa e morremos. O corpo tem que ser rearmado para responder de novo, e os nervos têm que estar preparados para propagar outra vez. Cada passo na percepção e ação é reação, e cada reação pode ser desfeita. Deve ser fornecido um reagente adequado que tenha energia para permitir mais uma exploração casual de disposições, e para induzir as moléculas a reformarem as suas estruturas anteriores. Por outras palavras, temos que comer.

Vimos que percepção e ação são ambas alimentadas pela tendência da energia para o caos. Ambas degradam a qualidade da energia no universo, e ambas envolvem, em última análise, a corrupção da energia. Ao comer, importamos mais energia de alta qualidade do nosso ambiente, e recarregamos os nossos corpos ao permitir que ela se disperse nas nossas células, onde está pronta para o próximo passo de degradação, como um ato de percepção, de ação ou de invenção.¹² Cada ação é corrupção; e cada restauração contribui para a degradação.

No nível mais profundo, as decisões são ajustes nas disposições dos átomos nas moléculas dentro de um grande número de células no cérebro. As razões subjacentes a essas mudanças são as mesmas que para qualquer processo. Os átomos não têm vontade de se mover, mas, dada a oportunidade, exploram, correndo o risco de ficarem presos quando a energia se dispersa no mundo. Cada alteração na constituição das células e nas suas interconexões é, no

fundo, provocada por uma disposição natural para o caos. Que esta atividade sem motivo, sem propósito, sem mente, se manifeste no mundo como motivo e propósito, e constitua uma mente, deve-se inteiramente à complexidade da sua organização. Tal como as sinfonias são, em última análise, movimentos coordenados de átomos, a consciência emerge do caos.

As decisões são tomadas com base na predisposição do cérebro. A forma como o caos emerge no mundo com o nome de ação depende do estado de preparação das suas células. As consequências da mudança do estado de uma única célula dependem do estado já existente nas células com que está em contato. Assim, toda a nossa história pessoal, enquanto as nossas células sobreviverem, canaliza as ramificações do caos. O facto de as células ativarem a atividade do cérebro em certas células e não em outras, e de nesse processo se modificarem para que pulsos subsequentes, talvez provenientes das recentemente estimuladas, sejam canalizados para outros locais, é a complexidade da organização que, alimentando-se do caos, o orienta para a coerência.

A herança, informação genética transmitida por reações, determina a estrutura do cérebro e impõe um padrão de ligações. A experiência, a sequência ao longo da vida de reações em resposta a influências, modifica incessantemente e desenvolve a rede. A idade é a morte das células e, conseqüentemente, a perda de subtileza. A senilidade é o decaimento da sofisticação da organização dos circuitos e o conseqüente fracasso do cérebro em coordenar o caos subjacente em brilho.

Enquanto pudermos restaurar as nossas células ao procurar energia de alta qualidade, não dispersa, no mundo exterior, transferindo parte dela para as nossas células, a nossa complexidade pode ser mantida. Uma visão sombria, porém, honesta, é que viver é, portanto, uma luta (uma luta impulsionada, em última análise, não por propósito, mas pela dispersão) para descartar energia de baixa qualidade para o meio envolvente e absorver energia de alta qualidade dele. Em certo sentido, corrompemos o mundo exterior para ter vida interior. A cadeia de consumo — homens a comer vacas, vacas a comer erva, erva a comer montanhas e a viver do sol — é o que evoluiu como um mecanismo interligado de dispersão. Não há necessidade de procurar um propósito por trás de tudo isto: a energia limitou-se a espalhar-se, e essa dispersão acabou por gerar elefantes e opiniões fascinantes.

Gostaria de acrescentar um posfácio. A propriedade singular do cérebro é que a sua resposta às circunstâncias está, em certa medida, sob o seu próprio controlo. Pode aproveitar oportunidades para escolher caminhos rumo à sua própria aniquilação, como no desespero ou numa inclinação para o martírio. Ou pode aproveitar oportunidades para escolher caminhos rumo à realização do seu potencial, como em atos de compreensão e criação. Essas inclinações são consequência do estado pré-existente do cérebro, da sua composição química quando o pensamento ou inclinação surge e se concretiza em ação. O livre-arbítrio é meramente a capacidade de decidir, e a capacidade de decidir não é mais do que a interação organizada de deslocamentos de átomos que respondem à liberdade na medida em que o acaso lhes concede energia para

explorar e depois os prende em novas disposições enquanto a sua energia se dispersa naturalmente e de forma aleatória. Mesmo o livre-arbítrio é, em última análise, corrupção.

SEGUNDA ORIENTAÇÃO

Vimos que a motivação de toda a mudança é a dispersão natural da energia, o seu colapso espontâneo no caos. A riqueza do mundo, o surgimento nele da arte e dos artefatos, das opiniões e teorias, pode ser rastreada até ao nível em que se revela apenas como o encadeamento de etapas para a dispersão. Os atos de criação são abatimentos temporários e locais do caos, mas cada abatimento é impulsionado por uma tempestade maior de caos noutro lugar. Toda a mudança, mudança em todas as suas formas, é o resultado de uma complexa teia de interligações que casualmente canalizam o desenrolar do universo em eventos discerníveis. Por baixo das opiniões e dos atos, não há nada a explicar além do desenrolar da rede de ligações que transforma o natural e compreensível no inesperado e imaginativo. Em última análise, existe apenas caos, não propósito.

Agora procuramos a natureza do agitar último, e investigamos o que governa os lugares para onde os átomos vão e a energia salta no desenrolar universal interligado. Tentarei identificar o que determina o movimento das coisas elementares individuais, e explicar as regras que parecem governar o seu comportamento. Vou argumentar que as naturezas das coisas determinam os seus destinos. Isto revela ainda mais a infinita preguiça do criador preguiçoso, porque mostra como permitir liberdade total conduz ao

surgimento de constrangimentos. Tentarei mostrar que não fazer nada, exceto permitir liberdade absoluta, conduz a comportamentos aparentemente regulados.

Veremos como notar o óbvio nos permite discernir a natureza subjacente da luz e da matéria. Aproximar-nos-emos da descoberta da natureza do espaço e do tempo e de ver a sua fusão no espaço-tempo. Veremos que as naturezas fundamentais da energia, força e partículas emergem como propriedades do espaço e do tempo. Desta forma, a natureza e as propriedades singulares do tempo começam a tornar-se compreensíveis, e o mundo um pouco mais claro.

CAÍTULO 3

Como ss Coisas Mudam

O PONTO QUE QUERO AGORA SALIENTAR É QUE O COMPORTAMENTO das coisas é determinado pela sua natureza. Quero mostrar que a qualidade essencial de coisas muito simples, mesmo sem mente, é suficiente para determinar o seu comportamento sem que seja necessário impor quaisquer regras. Coisas tão pequenas como átomos e elétrões não podem tomar decisões, mas têm de agir de acordo com o seu caráter inato: o que as coisas são, mesmo à escala atômica, determina como as coisas são. Um criador infinitamente preguiçoso evitaria a especificação de regras se a própria natureza de uma entidade fosse suficiente para reger o seu comportamento. Suponhamos que assim é, e que ele assim o fez, e vejamos como é possível descartar as leis a que o mundo parece estar sujeito. A única suposição que faremos é que as coisas acontecem a menos que sejam expressamente proibidas; e nada será proibido.

Já vimos que o fluxo de eventos no universo é o entrelaçar de passos rumo à dispersão da energia. Os movimentos individuais são deslocções de átomos, acelerações, colisões e assim por diante¹. Neste capítulo, observamos mais de perto esses passos e examinamos como uma espécie responde e afeta os seus vizinhos. No Capítulo 2 aproximámo-nos da simplicidade ao descartar o

propósito; neste, avançamos ainda mais ao descartar a necessidade de impor regras. As coisas comportam-se; as regras são o nosso comentário sobre o seu comportamento.

Uma forma de exprimir o nosso exame da criação é dizer que procuramos a natureza absoluta das coisas. A atitude de que o carácter intrínseco governa o comportamento observado é mais útil nesta busca se for invertida. Adotaremos a perspetiva de que podemos discernir as qualidades essenciais das coisas observando o seu comportamento. Se conseguirmos identificar uma característica que implique inevitavelmente o comportamento observado, então teremos identificado algo crucial, algum aspeto essencial da coisa.

Assim, iremos inspecionar o universo à nossa volta, seleccionar algumas coisas óbvias e identificar as regras mais simples que captem o seu comportamento. O passo seguinte será procurar a característica dessas coisas que, uma vez discernida, nos permita explicar e, na prática, descartar as regras. Nesse momento, teremos eliminado complicações desnecessárias.

O lugar mais fácil para começar é com a observação que está na base do nosso principal modo de contato com o mundo e com o universo além dele: a observação de que podemos ver.

A luz, como todos sabemos, viaja em linha reta. Se pudesse contornar esquinas, o mundo seria mais difícil de discernir. Seria como ouvi-lo em vez de o ver. Estaríamos imersos numa sinfonia

de cor proveniente de objetos que poderiam ser localizados de forma vaga, mas apenas examinados de forma difusa. Não haveria noite; a sinfonia seria interminável.

Mas dizer que a luz viaja em linha reta não é totalmente correto. Isso entra em conflito com a observação. A luz dobra-se na junção de meios diferentes. A sua perna na banheira parece partida, mesmo que não esteja. Uma lente desvia a luz e é moldada para focar a imagem numa película ou num olho. Assim, precisamos de encontrar uma regra que capte tanto a linearidade do trajeto quando o meio é uniforme como a sua curvatura quando passa de um meio para outro.

A regra que capta ambos os casos revela-se elegantemente simples (como todas as regras aceitáveis antes de serem eliminadas): a luz viaja pelo caminho que demora menos tempo².

Esta regra sucinta explica obviamente o movimento da luz através do ar ou de qualquer outro meio uniforme, porque uma linha reta é então também o percurso mais rápido para qualquer coisa que viaje a velocidade constante. A regra também explica a curvatura da luz na junção de meios. A luz desloca-se a velocidades diferentes em substâncias diferentes; o caminho mais rápido deixa então de ser o mais reto, como se pode compreender pensando no ato de se afogar.

Imagine que a vítima está afastada da costa, e você está na margem. Qual é o percurso que o leva até ela no menor tempo

possível, tendo em conta que corre mais depressa do que nada? Uma possibilidade é escolher um trajeto geometricamente reto desde a sua cadeira de praia até ao ponto onde ela se está a afogar: isso envolve uma certa quantidade de corrida e de natação. Em alternativa, poderia correr até um ponto na beira da água diretamente oposto a ela e nadar a partir daí em linha reta. Esse caminho é maior em distância, mas pode ser mais breve em duração se conseguir correr muito mais rápido do que nada. Por tentativa e erro, ou com trigonometria, descobriria que o percurso que leva menos tempo é aquele em que corre num certo ângulo através da praia, depois muda de direção e nada noutro ângulo em linha reta até ao seu alvo (se, entretanto, ainda não for tarde demais). Este é exatamente o comportamento da luz ao entrar num meio mais denso³.

Mas como é que a luz sabe, aparentemente de antemão, qual é o percurso mais rápido? E, afinal, por que é que isso lhe haveria de importar? A única forma de descobrir o caminho mais breve parece ser experimentá-los todos e depois eliminar todos os vestígios de o ter feito. Tem de haver algo na natureza da luz que implique que ela, naturalmente, experimente todos os percursos e depois elimine todos menos o mais rápido.

A propriedade essencial é que a luz viaja como uma onda. Uma vez percebido isto, as suas outras propriedades encaixam-se: a luz não pode deixar de viajar pelo caminho mais breve.

Uma onda é uma oscilação, uma série de cristas e vales. Duas ou mais ondas de perturbação podem propagar-se para a mesma

região. Se acontecer que as cristas de uma coincidam com os vales da outra, então tendem a anular-se⁴, e um observador verá menos perturbação, ou talvez nenhuma, se a anulação for completa. Isto é, basicamente, toda a informação de que precisamos para perceber como o caráter da luz determina o seu destino⁵.

Estamos a assumir que as coisas acontecem se não forem expressamente proibidas, e que um criador infinitamente preguiçoso não se dá ao trabalho de proibir. Imagine, então, um raio de luz que, por acaso, viaja de A para B seguindo um percurso sinuoso. Sabemos que a luz não viaja assim, mas imaginemos que viajava. Se esse trajeto for permitido, então também o será, para a luz, um que passe muito próximo dele. Assim, a luz também seguirá por esse percurso. Enquanto a luz que serpenteou pelo primeiro caminho pode ter chegado a B com uma crista, a luz que serpenteou pelo segundo pode ter chegado a B com um vale, ou com algo intermédio. Há muitos percursos que passam próximos do primeiro, e um observador em B vê a perturbação total resultante das ondas que exploram todos esses caminhos: muitas chegam como vales a B, muitas como cristas, e muitas em todas as possibilidades intermédias. A perturbação total em B é, conseqüentemente, nula, porque há sempre uma onda vizinha a anular a outra. Por outras palavras, ao permitir que a luz viaje por qualquer trajeto, parece que ela acaba por não conseguir viajar de todo. Mas a luz viaja.

Um passo foi demasiado apressado. Imagine um raio que, por acaso, segue diretamente de A para B. Agora imagine um caminho vizinho e o raio que o percorre. Se esse caminho estiver próximo

do primeiro, chegará a B com um vale se o primeiro chegou com um vale, e com uma crista se o primeiro chegou com uma crista. Existem muitíssimas linhas quase retas de A para B, e todas produzem perturbações em B que diferem apenas ligeiramente da perturbação causada pelo caminho reto. Estes caminhos, portanto, não se anulam mutuamente, e um observador em B vê a luz. Ele observa que a luz lhe chegou por trajetos retos, ou quase retos.

A medida em que os raios quase, mas não totalmente, retos contribuem para a perturbação total em B depende do seu comprimento de onda (a separação entre cristas sucessivas). Se o comprimento de onda for curto, apenas sobrevivem raios correspondentes a trajetos muito próximos da linha reta, pois todos os outros têm vizinhos suficientemente destrutivos. À medida que o comprimento de onda aumenta, as ondas deixam de se desencontrar tão rapidamente, e o poder eliminatório dos vizinhos diminui. Então, até caminhos bastante curvados sobrevivem e conseguem transmitir a sua perturbação. É por isso que as transmissões de rádio (que usam ondas de grande comprimento de onda) conseguem contornar casas, e porque não conseguimos ver para lá das esquinas. Podemos ouvir para lá das esquinas: os comprimentos de onda do som são longos.

A natureza ondulatória da luz explica a inevitabilidade da sua escolha por linhas retas. Contudo, isso é válido para meios uniformes, como o ar. Quando a luz passa de um meio para outro mais denso, viaja mais lentamente. Como resultado, as posições das suas cristas e vales são modificadas. Ainda assim, explora todos os percursos possíveis, mas já não é a linha reta geométrica aquela

que fica livre de vizinhos aniquiladores. Agora, devido ao deslocamento de cristas e vales, o trajeto sobrevivente é o que se curva na junção. Curiosamente, esse trajeto sobrevivente é também o mais rápido⁶. Assim, essa regra revela-se apenas um comentário distante sobre uma falta de propósito mais profunda. A luz descobre automaticamente os percursos mais breves ao experimentar todos os percursos possíveis e erradica automaticamente todos os vestígios dessa exploração; isto apresenta-se a nós como um comportamento, que resumimos numa regra.

Vemos, neste exemplo, como a liberdade perfeita gera a sua própria restrição. Além de explicar o comportamento observado, tudo o que dissemos concorda com a visão de senso comum de que as coisas inanimadas são intrinsecamente simples. Este é mais um passo no caminho para a visão de que as coisas animadas, sendo intrinsecamente inanimadas, também são intrinsecamente simples.

O passo seguinte neste desenvolvimento envolve notar uma observação semelhante sobre outra coisa. Uma vez que o comportamento é semelhante, podemos suspeitar que a explicação também o seja. Quero que repare que as partículas de matéria também viajam em linha reta, a menos que sejam sujeitas a uma força. Porquê?

De acordo com a perspectiva que estamos a adotar, fazem-no porque essa é a sua natureza intrínseca. Mas que natureza intrínseca pode ser esta que determina tal comportamento? Tem de ser o facto de as partículas se distribuírem como ondas.

Num só salto, impelidos pelo senso comum, passamos da física original, antiquada, de Newton, para a teoria moderna da matéria — a teoria quântica — que considera as qualidades de “partícula” e “onda” como inseparáveis. Muitos sentem-se confortáveis com a física clássica e encaram a teoria quântica, por ser menos familiar, como contrária ao senso comum. Na minha perspectiva, contudo, o senso comum leva-nos a aceitar a teoria quântica em substituição da física clássica, por ser mais coerente com o próprio senso comum. Sustento que as familiaridades entorpecedoras da física clássica ocultam, na verdade, a sua incompreensibilidade, exceto como comentário e modo de cálculo. Quando são examinadas, as explicações da física clássica desmoronam-se e revelam-se meras ilusões superficiais, como cenários de cinema.

Há muito mais na teoria quântica do que a afirmação de que as partículas são intrinsecamente ondulatórias, mas essa observação está no seu núcleo e é o que vamos desenvolver aqui — primeiro, procurando a regra real que parece reger a mecânica clássica das partículas, e depois procurando uma explicação.

A regra que parece reger a propagação das partículas é, de forma notável — e, por isso mesmo, suspeita —, semelhante à regra que parece reger a propagação da luz: as partículas seguem trajetórias entre A e B que envolvem a menor ação possível. Não importa agora o significado técnico de “ação”; basta, e é suficientemente verdadeiro, pensar em “ação” no sentido comum da palavra. Em particular, se a partícula não estiver sujeita a uma força, então o caminho que envolve a menor ação — sem desvios e sem aceleração — é uniforme e reto.

Agora, como é que uma partícula sabe, antes de tentar, qual dos infinitos caminhos possíveis de A para B corresponde ao de menor ação? E por que haveria de se importar com isso?

Assim que adotamos a perspectiva de que as partículas se distribuem como ondas, ambas as perguntas desaparecem, pela mesma razão que as elimina no caso da luz. A natureza intrínseca das partículas, o seu carácter ondulatório, garante que elas viajem em linhas retas de menor ação, porque todos os outros percursos — que estão perfeitamente livres de explorar — são eliminados automaticamente. A razão pela qual partículas como porcos e pessoas normalmente não parecem ser ondas é simplesmente que os seus comprimentos de onda são, habitualmente, tão curtos que se tornam indetetáveis. No entanto, elas distribuem-se como ondas, e esse atributo fornece explicações totalmente fora do alcance da física clássica.

Esta visão explica o movimento em linha reta, porque, na ausência de forças, esses caminhos são os que sobrevivem; a natureza ondulatória permite-lhes sobreviver. Por outro lado, sabemos que percursos curvos e movimento acelerado resultam da ação de forças. Mas o que são forças? Como primeiro passo para encontrar uma resposta, vamos observar a natureza da gravidade, pois a gravitação constrói o palco no qual as outras forças representam os seus papéis.

A gravidade, em resumo, é o espaço-tempo encurvado. Com isto compreendido (e dentro de instantes passaremos a compreendê-lo), a gravitação, como conceito separado, é efetivamente

eliminada — exceto em conversas e cálculos. A eliminação é a melhor explicação, pois implica menos criação.

Por agora, esqueça o tempo no espaço-tempo e pense apenas no espaço. Nesse caso, espaço encurvado significa que aquilo que percebemos como linhas retas é diferente daquilo que são, de facto, linhas retas. De certo modo, é a nossa percepção que está encurvada, e a familiaridade é responsável por mais uma ilusão. Assim, em vez de explicar por que é que as partículas se desviam das linhas retas sob a influência da gravidade, adotaremos uma alternativa elegante: consideraremos que as partículas seguem invariavelmente linhas retas, mas que esses percursos nos parecem curvos.

Esta mudança de ponto de vista, embora possa parecer um jogo de palavras digno de filósofo, é, na verdade, uma grande simplificação. Não há nada de escorregadio numa mudança de perspectiva: a ciência é a procura da visão mais simples — a visão que elimina a elaboração, que dispensa questões adicionais. Agora temos menos uma coisa para explicar, porque já sabemos que as partículas possuem uma natureza intrínseca que as leva a seguir linhas retas. As coisas — partículas, luz, pessoas, planetas e estrelas — seguem invariavelmente linhas retas. Essa é a sua natureza. Nós, observadores e comentadores, é que temos de modificar a nossa conceção humana de “retidão”.

No entanto, a curvatura do espaço não parece resolver totalmente a questão. Por exemplo, sabemos que os planetas se deslocam em órbitas mais ou menos circulares à volta do Sol, e não

parece possível imaginar uma curvatura do espaço capaz de torcer linhas retas ao ponto de as fazer parecer círculos. Além disso, sabemos também que, sob a influência da gravidade, as coisas aceleram. Para pensar sobre velocidade, temos de pensar sobre tempo — a posição pode existir sem tempo, mas a velocidade exige tempo. Quando introduzimos o tempo na discussão e consideramos espaço e tempo em conjunto, fundidos em espaço-tempo, não só introduzimos o conceito de velocidade, como também ganhamos flexibilidade suficiente para distorcer linhas retas até as tornar, aparentemente, órbitas fechadas no espaço. Ou seja, observar que planetas e satélites viajam em círculos aproximados obriga-nos a pensar no espaço e no tempo em conjunto⁷. Reparar no óbvio levou a mais uma síntese.

Mas o que queremos dizer com a fusão de espaço e tempo? Essa junção deve ser um processo delicado, pois parecem entidades tão distintas. Podemos ver a extensão espacial, caminhar à sua volta, virá-la e observá-la novamente; mas parecemos apenas estar conscientes do tempo, sem capacidade de o deter. Enquanto podemos agarrar objetos no espaço, é o tempo que nos agarra a nós. O tempo parece interno, o espaço externo.

O tempo é distinto do espaço mesmo na ausência de consciência. Embora as pessoas se refiram a ele como a quarta dimensão, não é simplesmente uma quarta dimensão do espaço. Ainda que possamos pensar no tempo como uma dimensão extra, o espaço-tempo não é apenas mais uma dimensão acrescentada ao espaço. A distinção essencial entre espaço e tempo reside na natureza da sua fusão. Reside, numa palavra, na sua geometria⁸.

A riqueza da existência resume-se a uma peculiaridade geométrica. A sua natureza pode ser discernida pela seguinte analogia. Pense primeiro apenas no espaço. Suponhamos que, por um acaso da história, tivéssemos o hábito de medir distâncias Este-Oeste em milhas e distâncias Norte-Sul em quilómetros⁹. Imagine como seria penoso expressar a distância (e o tempo que demoraria a percorrê-la) daqui até a um ponto situado a Nordeste! Haveria também grande perplexidade quando as pessoas descobrissem que o raio de um círculo variava entre 1 milha e 1,6 quilómetros. Certamente pensariam que haveria uma pista sobre a natureza do universo naquela observação.

A complexidade desapareceria quando alguém sugerisse converter milhas em quilómetros. Assim que todas as distâncias Este-Oeste fossem convertidas para quilómetros, verificar-se-ia que o raio de um círculo é independente da direção, as distâncias Nordeste e todas as outras assumiriam uma forma muito simples, e Pitágoras poderia expressar o seu teorema, $d^2 = x^2 + y^2$, com grande simplicidade. A complexidade da descrição geométrica do mundo desvanece-se quando todas as separações, em qualquer direção, são expressas nas mesmas unidades.

Pode imaginar que ainda haveria cientistas, e não poucos filósofos, que continuariam a tentar explicar a origem do mágico fator de conversão de milhas para quilómetros, acreditando que o seu valor, 1,609344 km por milha, teria um lugar central entre os atributos do universo que necessitam de explicação. Não devemos desviar-nos à procura de perspectivas pelo fator imposto pelo homem, mas antes procurá-las na sua eliminação.

Exatamente o mesmo tipo de simplificação ocorre quando as unidades de tempo são alinhadas com as unidades de espaço. Tudo o que precisamos é de um fator que converta segundos em quilômetros, um fator de tantos quilômetros por segundo — isto é, uma velocidade. O fator que funciona, no sentido de concordar com a observação, tem o valor aproximado de 300 000 quilômetros por segundo, uma quantidade denotada por c e anteriormente, e ainda de forma enganadora, chamada de velocidade da luz¹⁰.

Quando o tempo é expresso em quilômetros, existem muitas inconveniências quotidianas, como os números enormes nos mostradores dos relógios, e infelicidades pouco familiares, como “Chegaste 56 milhões de quilômetros atrasado”, mas a grande recompensa reside na elegante simplicidade da medição das separações e da descrição das curvas¹¹.

Com o c a funcionar meramente como fator de conversão entre unidades impostas pelo homem, o verdadeiro enigma é por que motivo a luz viaja com uma velocidade que tem exatamente esse valor numérico. A resposta começará a emergir à medida que exploramos outra característica.

Como c é um fator que converte uma unidade de medida noutra, é plausível que todos os observadores lhe atribuam o mesmo valor. Não deveria importar onde está ou o que faz; o fator de conversão deve ser sempre igual. Cada observador, independentemente do seu estado de movimento, deve medir o mesmo valor de c .

Incorporar a constância de c na física conduziu à segunda grande revolução científica do século XX: a relatividade. Essa revolução surgiu de um conflito. Por um lado, c é identificada como uma velocidade relativa (a velocidade da luz relativamente a um observador, que pode também ser um viajante e, por isso, esperar razoavelmente medir diferentes velocidades da luz dependendo se se aproxima ou afasta da fonte). Por outro lado, c é identificada como uma constante absoluta, fixa para todos os observadores, independentemente do que estejam a fazer ou da velocidade a que viajam¹².

Há apenas uma forma de resolver esse conflito: o tempo tem de ser ligado ao espaço de modo a distorcer a nossa percepção das velocidades relativas.

O teorema de Pitágoras pode ser resumido pela expressão $d^2 = x^2 + y^2$. A sua extensão para separações em três dimensões é $d^2 = x^2 + y^2 + z^2$. Se o tempo fosse simplesmente uma quarta dimensão do espaço, um Pitágoras moderno escreveria $d^2 = x^2 + y^2 + z^2 + (ct)^2$. Contudo, essa extensão simplesmente não funciona. Um observador que medisse a separação dos eventos segundo essa expressão encontraria uma confusão total, com a separação a depender de modo complicado da sua velocidade, e com a sua medição da velocidade da luz a variar conforme o seu estado de movimento.

Uma pequena alteração elimina essa confusão e resulta em todos os observadores observarem que a luz viaja à mesma velocidade, independentemente do seu próprio estado de movimento. Se as

separações forem dadas por $d^2 = x^2 + y^2 + z^2 - (ct)^2$, então tornam-se independentes da atividade e orientação do observador. Cada observador regista assim a mesma separação¹³. Cada observador relata a mesma velocidade da luz.

Chegámos aqui à simplificação crucial da descrição das propriedades do espaço e do tempo. É devido a esse sinal menos na expressão da separação que o tempo não é simplesmente uma quarta dimensão do espaço, mesmo quando é expresso como uma distância. É também por causa desse sinal menos que o tempo é qualitativamente distinto do espaço. Veremos que essa aparentemente pequena alteração de sinal é a diferença entre existência e não existência, além de estar na raiz da nossa diferente percepção de localização e duração. Esse sinal menos é aquilo a que chamamos uma peculiaridade geométrica. Ele está na base tanto da existência como da evolução do universo.

Por causa desse sinal menos, nenhum sinal pode penetrar para trás no espaço-tempo, tal como um círculo comum na geometria familiar não pode ter raio negativo. O sinal menos isola o passado do presente e assegura que nada no futuro pode modificar algo no presente ou no passado. Assim, garante que o nosso destino está no futuro e não no passado.

A sequência irrepetível e irreversível de eventos que constitui a nossa consciência é o “tempo” que percebemos a fluir para a frente. Esses eventos avançam necessariamente ao longo da dimensão que chamamos tempo. Como os eventos individuais projetam-se apenas para a frente no tempo, e como a mudança fica presa na

irreversibilidade pela dispersão, e como a percepção é a acumulação de experiência, a nossa consciência é transportada para o futuro.

Temos de voltar à ilusão da retidão e às trajetórias naturais das partículas. Vimos o que acontece quando só o espaço é curvado; agora pensemos no espaço-tempo curvado. O espaço-tempo é torcido pela presença da matéria, de modo que o que parece ser uma linha reta deixa de ser intrinsecamente reto. As partículas seguem linhas retas através do espaço-tempo porque essa é a sua natureza; mas uma linha reta já não é percebida como tal por um observador. Como o tempo também está dobrado no espaço, e a estrutura global está torcida, o movimento uniforme deixa de ser percebido como uniforme, assim como o espaço reto deixa de ser visto como reto. Em vez disso, um observador percebe acelerações e desacelerações da partícula¹⁴. O movimento da partícula permanece, na verdade, uniforme, mas as propriedades intrínsecas do espaço-tempo enganam o observador, levando-o a perceber modificações no movimento.

O percurso de um planeta em torno do Sol é uma linha perfeitamente reta e percorrida de forma uniforme, mas nós percebemo-lo como uma órbita fechada e variável. A subida e descida de uma bola é, na realidade, um trajeto reto e uniforme, mas a torção induzida no espaço-tempo pela Terra vizinha distorce a nossa percepção como uma lente de má qualidade, e inferimos que ela é influenciada por uma força que retarda a bola e depois a faz regressar. A força, na verdade, não está lá: a trajetória é uma ilusão.

Gravitação é a palavra que usamos para designar essa distorção. O movimento é intrínseca e extremamente simples: é uniforme e retilíneo, apenas parece distorcido pela presença de matéria. No fundo, não existe tal coisa como uma força gravitacional.

A questão óbvia agora é por que é que a matéria induz distorção: prefiro deixar isso de lado por agora e regressar a essa questão mais tarde. Permanecem questões ligadas aos temas principais. Existem forças para além da gravitação: existem forças elétricas, e ainda outras. Qual é a sua natureza?

Uma analogia ajudará primeiro a identificar e depois a eliminar a sua existência. Imagine um par de patinadores no gelo a patinar paralelamente um ao outro. Quando começam a atirar bolas um ao outro, afastam-se à medida que lançam as suas e apanham as do outro. Um observador distante, que não vê as bolas, será facilmente levado a acreditar que um patinador está a repelir o outro. Ele inferirá que existe uma força entre eles, uma força que os afasta das suas trajetórias retas. Nós sabemos melhor. Sabemos que eles estão a trocar coisas. Se os patinadores atirarem bumeranges, um observador distante vê-os a aproximarem-se. Como não vê os bumeranges, infere que existe entre eles uma força de atração. Nós sabemos melhor. Sabemos que não existe tal coisa como força, apenas uma troca de coisas.

Todas as forças que ligam átomos, núcleos e os componentes mais profundos das partículas podem ser vistas como resultantes da troca de partículas. Força é apenas a palavra-código para este comportamento a desenrolar-se no palco do espaço-tempo. O

espaço-tempo, com a sua curvatura, forma o cenário; as partículas, distribuídas como ondas, seguem trajetórias retas; mas partículas destacam-se de outras partículas e viajam (retas) até outras, imprimindo-lhes o seu movimento. Força é o nome dessa troca de partículas. Não há mais nada para além disso na força¹⁵.

TERCEIRA ORIENTAÇÃO

Já vimos como a natureza governa o destino, como o comportamento revela a natureza e como a liberdade perfeita gera as suas próprias restrições. Vimos que a luz e as partículas estão ambas distribuídas como ondas. Estas ondas exploram com total liberdade e, ao eliminarem os seus vestígios, iludem-nos a considerar que as coisas obedecem a regras, além de possuírem naturezas próprias. O papel peculiar da gravidade desviou a nossa atenção para a natureza do espaço e do tempo, e vimos que a liberdade perfeita continua a explicar o comportamento observado assim que o espaço é amalgamado com o tempo e o espaço-tempo é distorcido de forma que as linhas retas já não são percebidas como retas¹⁶. Mesmo movimentos aparentemente complexos, como os que ocorrem sob a influência de outras forças, emergem da liberdade perfeita quando a natureza dessas forças é compreendida como a troca de outras partículas. Vimos também que a amalgamação do tempo e do espaço é feita de modo a garantir o isolamento do passado em relação ao presente, mas não do presente em relação ao passado. O nosso progresso através da eternidade, ou do que dela existe, é um aspeto da geometria.

Sendo o espaço-tempo tão importante, precisamos de o examinar mais de perto. Em particular, devemos observar uma das suas características mais óbvias: a sua dimensionalidade. No capítulo seguinte, voltamo-nos para a inspeção da ligação entre, por um lado, a existência de três dimensões de espaço e uma dimensão de tempo e, por outro, a consciência capaz de as discernir e de responder a elas. Começamos também a ver por que, quando um universo passa a existir, ele adota a nossa dimensionalidade familiar. Assim, somos conduzidos ao cerne da natureza da matéria e da energia, e aproximamo-nos de compreender o que o criador infinitamente preguiçoso deve trazer à existência (ou, estando não envolvido, não impedir que exista).

CAPÍTULO 4

Onde as Coisas Mudam

VIVEMOS ONDE HÁ CIMA E BAIXO, LADO A LADO, e para trás e para a frente. O óbvio sobre o universo é que ele possui três dimensões. Por que é assim? Por que não possui apenas duas dimensões, ou quatro, ou ainda mais?

Através de perguntas tão fundamentais como estas, podemos começar a compreender não apenas os fenómenos da natureza, mas também os processos de criação. O espaço que habitamos é mais do que um palco para acontecimentos, porque a própria matéria é espaço (como veremos mais claramente mais adiante). Portanto, a criação pode ser considerada simplesmente como a construção do espaço.

Poder-se-ia pensar que criar o espaço é algo simples; mas ele tem de ser algo mais do que mera vacuidade se quiser ter propriedades tão ricas como aquelas que constituem o mundo percebido. Tentarei justificar a ideia de que, num sentido que desejo seja tomado como completamente desprovido de qualquer conotação mística, o próprio espaço é autoconsciente.

Alguma vez também se perguntou por que há apenas uma data no seu jornal diário? Por outras palavras, por que há apenas uma dimensão do tempo? Por que o tempo não é bidimensional, ou até mais?

Será que a nossa percepção do tempo seria intrinsecamente diferente se ele fosse bidimensional, de modo a que pudéssemos mover-nos lateralmente no tempo (para outro instante) assim como para a frente?

A geometria do espaço permite que o “ali” seja acessível a partir de qualquer lugar; mas a geometria do espaço-tempo isola o passado do presente. Será que a inacessibilidade do passado depende da dimensionalidade do tempo? Se assim for, então a percepção é uma característica da dimensão.

Exploraremos a natureza e as consequências das dimensionalidades do espaço e do tempo. Começaremos por examinar que tipos de universos poderiam ter surgido se a criação tivesse gerado espaços com diferentes números de dimensões. Mais tarde, veremos que é bastante provável que o surgimento da criação só pudesse resultar na formação do nosso universo familiar, com as suas três dimensões de espaço e uma dimensão (num certo sentido apenas metade) de tempo.

Ainda assim, há vantagens em considerar outros universos concebíveis, pois eles realçam as características únicas e possivelmente inesperadas do familiar. A exploração também

revelará consequências divertidas da dimensionalidade, como as suas implicações para a natureza da evolução e o surgimento da consciência. Em resumo, defenderei que não só um universo com três dimensões de espaço e uma de tempo é o único tipo que pode sobreviver à sua própria criação, mas também que tal universo é o único que possui a capacidade de se tornar autoconsciente.

Começo com a autoconsciência. Embora a consciência seja claramente um critério artificial para a viabilidade de um universo, ela é inegavelmente uma propriedade deste¹. Poderíamos adotar a visão de que estamos apenas conscientes desta criação, e que existem outros universos profundamente diferentes que surgiram de outras criações noutros lugares. Se assim for, devemos estar conscientes do que estas diferenças profundas implicariam. Ao apontar para elas, argumentarei que o nosso é o universo mais simples e possivelmente o único tipo de universo (no sentido de possuir a dimensionalidade correta) capaz de estar ciente destas outras possibilidades — assim como é o único tipo de universo capaz de estar consciente de si próprio. Mais tarde, mesmo a possibilidade dessas alternativas será descartada. Nesse ponto, veremos que a preeminência atribuída ao homem acaba por ser a preeminência da sua dimensionalidade subjacente.

Começemos pelo espaço. Examinaremos a natureza de universos com diferentes dimensionalidades espaciais em termos das consciências que poderiam suportar. Se um componente de um universo deve perceber, assimilar, aprender e comunicar, ele tem de ser complexo. A consciência é simplesmente complexidade. Ser um ser significa organizar respostas e reunir coerência a partir do

potencial do caos. Desenvolveremos o argumento com base no facto de que a complexidade da construção é a essência de ser consciente.

Um universo sem dimensões é um ponto sem características. Como tal, não possui propriedades, não tem complexidade e certamente não possui autoconsciência. A ausência de dimensões implica ausência de existência.

Um universo unidimensional é uma linha sem largura. As estruturas que o habitam seriam agulhas infinitamente finas alinhadas ao longo da linha. Não há cima nem baixo, nem lado a lado, apenas para trás e para a frente. As agulhas nunca podem passar umas pelas outras, exceto perdendo as suas identidades e fundindo-se com os vizinhos. A evolução depende da incorporação do que quer que seja encontrado em qualquer uma das extremidades. Como uma criação gera apenas simplicidades, as coisas que as agulhas encontram são sempre inanimadas, e nenhuma estrutura orgânica complexa poderia alguma vez evoluir. A comunicação poderia desenvolver-se, porque, por exemplo, uma agulha poderia empurrar a vizinha, que por sua vez empurraria a seguinte. Com o tempo, esses empurrões poderiam coordenar-se em ondas complexas de pressão que se propagariam para trás e para a frente ao longo do universo. No entanto, as ondas seriam tão pouco consciência quanto as vibrações atómicas são ideias brilhantes. Devido à pobreza da interconexão dos componentes, não existe oportunidade para desenvolver a capacidade de aprender, e as agulhas teriam apenas a percepção mais rudimentar do mundo.

Em contraste, um mundo bidimensional seria incomensuravelmente mais rico. Por exemplo, poderia evitar os vizinhos. Poderia também adquirir novos vizinhos para dinamizar a reprodução e ir caçar para dinamizar a digestão. Poderia contornar obstáculos em vez de ficar sempre limitado pelo primeiro que encontrasse. Poderia sustentar a sua própria complexidade (à custa do ambiente à volta) adquirindo e descartando alimento, e poderia desenvolvê-la (à custa dos seus concorrentes) encontrando parceiros para colaborar na evolução.²

No entanto, ainda permaneceriam dificuldades. Uma delas, curiosa, relaciona-se com a alimentação. Se a forma eficiente de incorporar pedaços do mundo exterior é através de um intestino, usando uma extremidade para devorar, a outra para descartar e o resto para digerir, então surgiriam graves problemas estruturais em duas dimensões. Um tu bidimensional com intestino seria dois “tus”; teria ou uma identidade ou uma digestão. Uma solução para este dilema seria jantar em colaboração, cada parceiro fornecendo um lado do intestino. Alternativamente, o intestino poderia ser um beco sem saída, com o descarte feito na mesma extremidade que o devorar. Estes pontos, embora divertidos, são mais questões de convenções sociais em jantares do que problemas profundos da natureza do mundo; mas indicam que a dimensão tem impacto na etiqueta³.

Muito mais pertinente é a observação de que a consciência subtil não poderia emergir. Por um lado, não haveria tempo para evoluir; por outro, seria estúpida se o fizesse; e, em terceiro lugar,

perceberia o ambiente apenas de forma ténue, ficando confinada à introspeção por comunicações confusas com outros.

Presumimos que a consciência depende da complexidade, da existência de uma rede de interconexões entre células suficientemente elaborada para constituir um cérebro. Surge imediatamente um problema em duas dimensões. Embora seja verdade que as conexões podem situar-se lado a lado e contornar obstáculos, por não haver cima nem baixo, não podem cruzar-se. Consequentemente, uma única fibra pode ter de contornar obstáculos por grandes distâncias antes de atingir o seu destino. Alguns destinos podem já estar rodeados por células e seus apêndices, tornando-os totalmente inacessíveis e diminuindo, assim, as oportunidades de complexidade do cérebro.

Há muitas consequências desalentadoras. Em primeiro lugar, cérebros bidimensionais precisariam de ser imensos. Em vez de as células estarem ligadas por fibras com alguns centímetros de comprimento, como dentro das nossas cabeças, as conexões poderiam ter de percorrer vários quilómetros para alcançar uma rede com complexidade suficiente. O cérebro de um cão poderia ter o tamanho de uma cidade.

A extensão traz a sua própria complicação. O desempenho dos cérebros depende não só da disposição espacial das conexões, mas também do tempo de chegada dos sinais. Embora redes espacialmente complexas pudessem evoluir, falhariam em ser viáveis a menos que ainda mais complexidade, sob a forma de áreas

de espera e pilhas, fosse introduzida para regular os tempos de chegada dos impulsos.

Os cérebros têm de ser simultaneamente drenados e sustentados. De algum modo, cada célula num cérebro plano tem de ser abastecida com combustível, e os resíduos removidos depois da transferência de energia. Não só as próprias conexões nervosas têm de contornar obstáculos sem se cruzarem, como toda a estrutura tem de ser percorrida por uma rede de condutas de abastecimento e esgotos, nenhuma das quais podendo atravessar ou passar por baixo de outra, dado que não há cima nem baixo⁴.

O problema poderia ser contornado recorrendo ao tempo. Haveria lavatórios e estações de abastecimento em pontos estratégicos, onde as células cerebrais poderiam descansar e ser reabastecidas; mas a eficiência de toda a estrutura seria fortemente prejudicada, e as células só conseguiriam participar em alguns pensamentos antes de terem de se esgueirar entre os vizinhos, como ovelhas numa manada apertada, em busca de revitalização.

O volume também impede a reprodução e retarda a evolução. Em criaturas tão grandes, a evolução seria mais como uma reconstrução imaginativa ou renovação urbana. Teria de desenvolver-se uma forma particularmente lenta de reprodução, pois as cabeças mal poderiam mover-se. Além disso, para evitar conexões aleatórias entre células e ter alguma hipótese de produzir mesmo um único génio minimamente competente entre populações de vegetais, a rede precisa de ser cuidadosamente especificada. Os genes devem carregar esta especificação detalhada; no entanto,

eles também são bidimensionais e só podem transportar pouca informação. Não só é improvável que surja complexidade ordenada, como também está sujeita à decadência: a espécie seria pouco inteligente e instável, e a inteligência recessiva.

Se, apesar de tudo isso, um cérebro bidimensional conseguisse evoluir, descobrir-se-ia que lhe faltaria a capacidade lógica de criaturas em dimensões superiores. Isto porque nem toda rede de conexões em três dimensões pode ser reconstruída em duas sem que as linhas façam o impossível e se cruzem. Mesmo processos conscientes relativamente simples em três dimensões, como a retração de uma brânquia, parecem necessariamente envolver redes de conexões que não podem ser formadas em duas dimensões sem numerosos cruzamentos inevitáveis e, portanto, impossíveis⁵.

Quando nos voltamos para cérebros em três dimensões, as dificuldades desaparecem. Agora é possível ter uma rede ricamente complexa de interconexões dentro de um pequeno volume. As cabeças deixam de ser tão desajeitadas que interferem com a caça e a reprodução. Já não há qualquer limitação à complexidade da rede lógica que possa evoluir. Os recursos massivos de energia deixam de ser necessários para empurrar o alimento e bombear os resíduos. A organização da sequência de sinais torna-se muito mais fácil de alcançar quando as transmissões são quase instantâneas. Agora, a maior parte do cérebro pode ser dedicada a comutadores e não desperdiçada em cabos.

Pode, portanto, conjecturar-se que cérebros em quatro dimensões seriam simultaneamente supercompactos e superbrilhantes. Tal poderá, de facto, ser assim, mas nenhuma nova rede lógica pode ser construída quando uma nova dimensão é introduzida ao passar de três para quatro (ou mais). O que limita o brilhantismo de um cérebro quadridimensional é a sua percepção ténue do mundo exterior.

A maior parte da comunicação ocorre através de ondas. Existem ondas sonoras e toda a gama de ondas eletromagnéticas responsáveis pela televisão, comunicações e astronomia. Uma característica notável das ondas é que o seu comportamento é bastante diferente em espaços de dimensão par (2, 4, ...) em comparação com espaços de dimensão ímpar (no nosso, por exemplo, com três). Em universos de dimensão ímpar, as ondas propagam-se sem distorção; em espaços de dimensão par, elas desfocam-se⁶. Enquanto nós ouvimos 'Bang!' como 'Bang!', porque a onda de choque curta e intensa viaja pelo ar sem se espalhar, um ouvinte bidimensional ouviria 'Ba..a...n....g...'. Embora um cérebro quadridimensional pudesse ser super-rápido e superlógico, percecionaria o mundo exterior apenas de forma enevoadada, estando isolado da informação pelo espaço intermédio. A espécie seria intrinsecamente míope e surda, e os seus membros confinados à introspeção dentro da sua própria individualidade.

Cérebros quintuplos poderiam ser supercompactos, interagir com outros e observar o universo com clareza plena; mas não conseguiriam evoluir. Para percebermos porquê, voltamo-nos para outro aspeto da existência.

Tomamos como hipótese que, para existir, a consciência requer plataformas ligeiramente quentes, estáveis, que não experimentem grandes variações de clima e condições, e que persistam por longos períodos. A Terra, mesmo que não seja um paraíso, é pelo menos um paradigma⁷.

Embora os planetas possam ser necessários para o surgimento da consciência, por si só não são suficientes. Um planeta tem de dispor de um fornecimento de calor suave, de modo a reter a fluidez do seu ambiente. Essa fluidez é necessária para que as moléculas tenham mobilidade suficiente para explorar caminhos de evolução. Tal calor poderia vir do interior do planeta, e é concebível que a vida pudesse evoluir na superfície de uma estrela quente. Mas o calor por si só pode ser insuficiente. A vida alimenta-se da qualidade (no sentido do Capítulo 2). Embora fontes quentes pudessem impulsionar substâncias para a aquisição de complexidade, o seu calor é difícil de controlar e localizar nos pontos onde é necessário⁸. O calor é simplesmente demasiado perigoso, pois pode destruir o que formou brevemente. Para a evolução segura e firme da complexidade, precisamos da forma de energia altamente controlável, de alta qualidade e localizável que encontramos na luz.

Um planeta suficientemente quente para ser uma fonte de luz, e, portanto, potencialmente fonte de vida, seria também um crematório global: nenhuma molécula complexa, quanto mais corporações de moléculas agindo como um corpo, poderia sobreviver. Claro que fontes locais de luz podem ser criadas num planeta frio, mas normalmente dependem de engenho, e, portanto, são consequência da vida e não a sua motivação. Exceto em

civilizações e hostilidades, luz *persistente* e estável tem de vir de fora de um planeta; assim, os planetas necessitam de sóis para a vida.

Se um planeta deve ser plataforma para o surgimento da vida, tem de orbitar o seu sol central sem aproximar-se demasiado, de modo a que as formas de vida emergentes não sejam fritas, e sem afastar-se demais, de modo a não congelarem. A órbita não deve ser errática se a vida tiver hipótese de emergir, e se moléculas delicadas devem tropeçar numa complexidade frágil e duradoura. Estas condições suaves, e, portanto, órbitas estáveis, têm de persistir por éons. Encontrar critérios para a evolução da consciência reduz-se, portanto, a encontrar critérios para a estabilidade das órbitas planetárias.

Argumentarei agora que a consciência é tridimensional. A base desta visão é que só em três dimensões existem órbitas planetárias de estabilidade persistente, e só em três dimensões há tempo e oportunidade para que a complexidade delicada se organize até ao ponto de poder responder ao seu ambiente com a subtilidade que nós, que a experienciamos, chamamos consciência.

Em duas dimensões, como em universos de quatro ou mais dimensões, os planetas são facilmente deslocados das órbitas por pequenas perturbações⁹. A passagem de um cometa pode enviar um planeta a fritar no seu sol ou a congelar no espaço frio. Mas a Terra e os seus análogos, próximos deste e de outros sóis, respondem à passagem de cometas, a outros planetas e a encontros próximos de outros tipos, e sobrevivem. A liberdade de

movimento permitida pelas três dimensões do nosso espaço é precisamente suficiente, e não excessiva, para permitir que ajustem os seus caminhos subtilmente e evitem o desastre. Evitados os desastres, permanece a oportunidade de desenvolvimento dos selves (Eus ou seres autoconscientes), e depois do autodesenvolvimento, até que, talvez por teimosia, a chance seja desperdiçada pela mesquinhez local das guerras.

A consciência é uma propriedade de manchas minúsculas na superfície quente de planetas amenos. Neste planeta, até ao século presente, tinha-se mantido confinada ao âmbito dos indivíduos. Aqui agora (e presumivelmente, cosmicamente noutros tempos e locais) as manchas estão a fundir-se através do desenvolvimento da comunicação numa película global de consciência que, em devido tempo, poderá abranger a galáxia e além. Nenhum deste potencial para o desenvolvimento dos movimentos coordenados de átomos em percepção e inteligência poderia ter sido realizado se o universo tivesse emergido da sua criação com outra coisa que não três dimensões espaciais.

O argumento deveria, na verdade, correr no sentido inverso. A dimensionalidade dá ao universo a oportunidade de desenvolver consciência; a consciência não é uma razão para uma dimensionalidade particular. O Homem e os seus equivalentes noutros locais são meramente elefantes com tendência para a arrogância. Somos fragmentos do universo, elefantes felizes por percorrer livremente o espaço intelectual e físico. Como forma elaborada do mundo físico, e não mais que isso, não somos mais necessários à sua existência do que uma brisa. Assim como um

universo poderia existir sem brisa, também poderia existir sem a propriedade da consciência.

Isto levanta a seguinte questão. Quando um universo tropeça na sua própria criação, cairá necessariamente em ser tridimensional? Se assim for, terá potencial para desenvolver a qualidade de saber que assim ocorreu (embora fatores para além da sua dimensionalidade possam modificar, poderíamos dizer prejudicar, o seu curso real de evolução e deixar o nosso próprio estilo de consciência por descobrir). Se não adotar necessariamente três dimensões, então outros locais poderão estar repletos de universos inconscientes, mas, no entanto, existentes. Estamos sozinhos, no sentido de todos os outros universos estarem mortos em virtude das suas dimensionalidades? Ou todos os outros universos que podem existir, abrangendo outros locais e outros tempos, são também tridimensionais e potencialmente habitados com consciência?

Que existam outras inteligências neste universo é agora razoavelmente certo, pois o nosso entendimento sobre a formação de estrelas sugere que os planetas acompanhantes são uma característica comum. Que não existam outras inteligências é tão improvável que não merece especulação qualitativa adicional. A nossa preocupação aqui é o mesmo problema, mas ampliado a nível cósmico: sabemos o suficiente sobre a formação de universos para termos certeza de que existem outros modos de inteligência fora deste universo? Estaremos nós, hipercosmicamente, sós?

Com base em que, então, um universo deveria adotar três dimensões — ou qualquer outro número — quando entra em existência? Estamos a desconsiderar razões baseadas em propósito, considerando-as supérfluas¹⁰. Portanto, a razão tem de ser encontrada na sua aptidão para sobreviver. O que é que sobrevive em três dimensões, temos de perguntar, mas não sobrevive noutras? Precisamos procurar razões pelas quais o universo pode sobreviver à sua própria criação e relacionar essas razões com a sua dimensionalidade.

Um nó é um exemplo simples de algo que pode sobreviver em três dimensões, mas não em mais¹¹. Nem sequer é possível atar um nó em duas dimensões, porque não se pode cruzar por cima nem por baixo (o que não exclui a possibilidade de coisas bidimensionais usarem coletes de lã). Pode-se fazer entrelaçamentos complexos em quatro dimensões, mas não são nós e desfazem-se facilmente. Em três dimensões é possível dar nós, em contraste com duas, onde não é. Os nós podem persistir em três dimensões, mas não em quatro.

A persistência de nós em três dimensões assemelha-se tanto à persistência de partículas que sugere que estas não sejam mais do que nós no espaço-tempo. Diferentes espécies de partículas são como diferentes espécies de entrelaçamentos do espaço-tempo, e persistem no tempo porque as três dimensões do espaço eliminam a possibilidade de simplesmente se desenredarem. Assim, as estabilidades e identidades das partículas resumem-se à dimensionalidade: três dimensões de espaço são o mínimo para existir e o máximo para persistir. Em universos de outras dimensões

não haveria apenas ausência da propriedade da consciência — que é uma irrelevância agradável —, mas nem sequer existiria matéria.

Podemos, creio, começar agora a ver a origem das forças. Um nó do espaço-tempo — uma partícula — está embebido no espaço-tempo¹², e a sua torção distorce localmente o seu entorno, e essa torção, por sua vez, distorce, e a curvatura propaga-se à distância¹³. A gravidade, ou a distorção que chamamos gravidade, é então apenas a consequência da incorporação dos seus próprios nós no espaço-tempo. Quanto maior a massa do objeto, maior a sua “nodosidade” e, portanto, maior a sua influência distante. Nós de tipos particulares induzem diferentes tipos de nodosidade no espaço próximo, e esses poucos nós propagam-se e interagem com nós semelhantes noutras partes. As forças começam assim a emergir.

Contudo, a existência de partículas e a persistência das identidades não são mais uma razão para as três dimensões do que a existência de elefantes ou de inteligência. A menos que possamos encontrar outra razão para o surgimento das três dimensões, teremos de admitir a possibilidade de universos amorfos. Até agora, apenas o preconceito nega a sua existência. Precisamos escavar mais fundo.

Sabe-se que a gravidade tem propriedades que refletem o número de dimensões¹⁴. Por exemplo, se o espaço-tempo tivesse apenas uma dimensão de espaço¹⁵ (juntamente com uma de tempo) não poderia haver matéria, e o espaço poderia adotar curvaturas de magnitude aleatória. Por outro lado, se houvesse

duas dimensões de espaço, a matéria poderia existir, mas o espaço intermédio teria de ser necessariamente plano e, assim, os objetos não poderiam interagir. Apenas num espaço tridimensional — espaço como o nosso — a matéria pode existir e propagar a sua influência tanto aos vizinhos imediatos como aos distantes. A existência de três dimensões permite que os membros do universo sejam coordenados num todo. Em menos de três dimensões, ou não tomariam forma, ou permaneceriam para sempre totalmente isolados.

Num universo de simplicidade intrínseca, mas rico em propriedades, tem de haver uma variedade de forças. Uma força tão universal como a gravidade, no entanto, tem de ser compatível não só com uma força tão universal como o eletromagnetismo, mas também com todos os outros tipos de forças que mantêm as coisas unidas em elefantes. Em qualquer outra dimensionalidade do espaço-tempo que não a nossa, essas forças parecem ser mutuamente incompatíveis. Apenas num espaço-tempo da nossa dimensionalidade — três dimensões de espaço e uma de tempo — as forças são compatíveis com a existência da matéria.

A dimensionalidade do tempo também não é um acaso¹⁶. Se o tempo tivesse mais de uma dimensão, poderia dar a volta no tempo tal como pode dar a volta no espaço. Mas, como o tempo tem apenas uma, está limitado a perseguir o futuro. A estrutura do nosso espaço-tempo garante que as consequências das ações presentes se encontram no futuro; não seria assim se o tempo fosse dimensionalmente mais rico. Jornais com duas datas não relatariam necessariamente o passado.

A morte da causalidade — e a substituição do encadeamento de acontecimentos precedidos pelas suas causas por causas e eventos desconetados — teria um impacto mais profundo do que a mera confusão. Implicaria a morte do ser. Como explicarei adiante, jornais com duas datas, tal como os seus leitores e os átomos dos seus leitores, não poderiam perdurar. Ter demasiado tempo, no sentido de ter várias dimensões, é tão perigoso para a duração quanto ter demasiado pouco.

Demasiado tempo concede demasiada liberdade para contornar um tipo especial de obstáculo à mudança. Em particular, permite liberdade para contornar as restrições impostas pela conservação da energia. Isto acarreta uma cadeia de consequências desagradáveis. A conservação da energia implica a conservação da matéria; portanto, se a energia não for conservada, também a matéria não o será. Além disso, a conservação da matéria é a conservação das pregas e dos nós do espaço-tempo. Assim, com a eliminação da conservação da energia, dá-se a eliminação da estrutura do espaço-tempo. O espaço-tempo é estabilizado contra o colapso pela conservação da energia; mas, com outra dimensão de tempo, esta restrição desmorona-se e, com o seu desmoronamento, desfaz-se a matéria. O universo acabaria num instante se o tempo tivesse mais de uma dimensão. Sobrecarregado de tempo, não poderia sobreviver à sua própria criação.

Mas por que é que existe tempo? O tempo não está aqui para benefício da nossa compreensão; nós apenas nos aproveitamos dele, derivando, percebendo, inevitavelmente, em direção ao futuro. O que deu origem ao tempo? Por que é que o universo surge

com um tempo, e não apenas como espaço suspenso na existência, fora do tempo, livre da eternidade? Uma resposta começa a emergir. É a seguinte: se o espaço-tempo não tivesse tempo e fosse verdadeiramente espaço quadridimensional, com $-(ct)^2$ na sua geometria substituído por $+(ct)^2$, então o avanço em qualquer direção ao longo desta quarta dimensão nunca levaria o universo a um ponto. Com o nosso tipo de tempo, todo o universo pode ser rastreado até um único ponto e teve um início. Com aquele tempo alternativo de natureza espacial, a história do universo nunca teria tido um começo identificável. Sem tempo, no nosso sentido, não há início. Com um início — no sentido de existir, em algum ponto do espaço-tempo, uma criação pontual — existe necessariamente uma geometria com a natureza do tempo.

Onde estamos, então? Vimos que o palco de todos os acontecimentos é o espaço-tempo, espaço e tempo amalgamados, mas distinguidos pela adoção de uma geometria especial. As distorções locais do espaço-tempo, os seus nós, são as partículas fundamentais e as forças do universo, e persistem devido à dimensionalidade do espaço-tempo e à peculiaridade da sua geometria. Essa geometria especial permite estabilidade e inibe a evaporação imediata de um universo recém-formado. Vimos que a existência do tempo é uma consequência necessária da criação e, como bônus, traz consigo as distinções da causalidade. A causalidade torna o universo potencialmente compreensível e, aliada às propriedades das três dimensões do espaço, leva-o ao patamar de ser efetivamente compreendido.

As características do espaço-tempo, precisamente aquelas que o tornam estruturalmente estável, também permitiram que ele evoluísse até ao ponto de possuir afloramentos de consciência. Essa consciência está agora incorporada em nós e noutros, e é suficientemente rica para ser capaz de elaborar simplicidades em arte e de simplificar complexidades em ciência.

QUARTA ORIENTAÇÃO

Vimos que a matéria e a energia são espaço-tempo, e que a dimensionalidade do universo é tal que permite à matéria não apenas existir, mas também persistir. O lento e interconetado desenrolar da criação inicial — aquilo que argumentámos dever ser considerado como colapso natural, espontâneo e sem propósito em uniformidade dispersa e caótica — traz à existência a consciência e as colheitas, propósitos e potes, motivos e máquinas, e crença e compreensão como efémeras eflorescências. É isso que nós, que somos alguns dos salientes percetivos do universo, experienciamos como ser. Vimos que, na criação, precisava formar-se espaço e tempo; depois, com a nossa familiar dimensionalidade, é possível exibir a riqueza de propriedades que percebemos como matéria, energia e forças, e ser o palco para os eventos, eventos de tal subtileza que, em alguns lugares, as coisas tornam-se autoconscientes. Num sentido profundo, o próprio espaço-tempo é autoconsciente¹⁷.

Uma forma que essa autoconsciência assume é a capacidade dos cérebros de gerar matemática, e é a matemática que usamos como linguagem para descobrir e expressar o novo. Essa matemática é a

linguagem profunda da natureza, a apoteose da abstração e a grande habilitadora do aplicado, devendo levar-nos a perguntar se aqui reside a maior pista de todas sobre a nossa origem e a origem da nossa compreensão¹⁸.

CAPÍTULO 5

Calculando Coisas

UM DOS PROBLEMAS MAIS PROFUNDOS DA NATUREZA É O SUCESSO DA matemática como linguagem para descrever e descobrir aspetos da realidade física. Em suma, por que funciona a matemática? Por que motivo as equações de Newton podem ser usadas para prever, pelo menos aproximadamente, o comportamento real de uma partícula? Por que é que a geometria euclidiana é bem-sucedida em regiões locais? Por que razão a teoria quântica parece ser uma descrição exata do mundo, mesmo que ainda não a compreendamos plenamente? Por que é que previsões baseadas nas equações de campo de Einstein se revelam efetivamente observáveis? Por que, à medida que avançamos cada vez mais fundo no passado em busca da nossa origem, a matemática se mostra a inevitável auxiliar da experiência? Questões como estas têm um interesse e uma importância extraordinários, e pode ser que a resposta lhes revele tudo o que existe da alma do universo.

Nós, humanos, dissipámos as nuvens que encobriam a nossa compreensão do início cósmico e da nossa persistência atual, até ao ponto de expor a estrutura matemática do mundo com uma clareza nunca antes alcançada. (Outros seres, algures, poderão já ter desnudado a compreensão até ao osso, mas não há prova disso

e devemos agir como se estivéssemos sós.) No nível atual de estudo da subestrutura do mundo, podemos estar a examinar o alicerce do ser. Ao reduzir elefantes a elementos, e elementos a quarks, estamos a desmontar a complexidade do universo e a expor o seu coração simples. Este processo está a revelar o que poderá ser a estrutura profunda do universo e — para o propósito deste discurso — a mostrar com a maior clareza a relação dessa estrutura com a matemática.

Além disso, a atenção dos pensadores devidamente equipados — aqueles a quem chamamos cientistas — começa finalmente a voltar-se para outro grande enigma do ser: a consciência. O facto de podermos estar prestes a fazer progressos na resolução deste enigma, mesmo que até agora tão pouco tenha sido alcançado, é relevante para a nossa exploração, porque o nosso cérebro parece ser a nascente da matemática. Se conseguirmos compreender por que razão essa suprema construção do intelecto humano — esse arquétipo de incorporeidade intelectual — funciona como descrição do mundo, talvez possamos ter uma percepção sobre a cognição. Quase literalmente, ao olharmos profundamente para o universo, poderemos ver o interior das nossas próprias cabeças.

Talvez não seja demasiado extravagante afirmar que a resposta à questão de por que funciona a matemática será a resposta final a todas as questões do ser (incluindo aquelas motivadas por um sentimentalismo ilusório). Mas não devemos cair na armadilha complacente que enreda filósofos sedentários: precisamos que a ciência experimental nos guie através do labirinto de complexidade tão característico do mundo externo. As experiências concentram o

nosso poder de produzir descrições matemáticas de pequenos fragmentos do todo — fragmentos que podem ser examinados para verificar se estamos certos. Mas, uma vez alcançada a matemática adequada, teremos uma compreensão extraordinária, talvez a mais profunda possível, sobre o que é — o nosso cosmos.

Os Gregos, naturalmente, pensavam de forma semelhante. Gilbert Murray observou que o pensamento grego se distinguiu por uma clareza de visão talvez típica de quem funda uma nova disciplina:

“partiram diretamente da natureza, quase sem os enredamentos de credos, costumes e tradições elaboradas”¹.

Infelizmente, o seu lampejo primordial de inspiração e perspicácia, se é que foi isso, ficou encalhado na praia da especulação de poltrona pela ausência de um suporte experimental igualmente penetrante. Sem esse reforço crítico, os inimigos da luz invadiram e dois mil anos de decoração ofuscante acumularam-se sobre o que poderiam ter sido indícios da verdade. Só agora as nossas capacidades experimentais se aproximam do poder da nossa matemática, e pode ser chegada a altura de regressar à visão grega original.

Os pitagóricos, por exemplo, poderão ter alcançado, sem o saber, uma percepção absoluta ao reconhecerem a *tetraktys*^{*2}, e talvez exista um mecanismo subjacente à sua descoberta que ainda nos escapa. Mas foi aí que o seu avanço parou efetivamente. Não foram capazes de o desenvolver — talvez porque fosse equivocado e vazio, mas muito possivelmente porque conceitos simples, como as relações entre números, eram em grande parte irrelevantes para os objetos do quotidiano, praticamente as únicas coisas que conheciam quantitativamente. Viram o que talvez fosse um lampejo de verdade quando confrontados com uma abstração simples — a harmonia — e com uma arena desimpedida — o espaço-tempo. Mas depois veio a longa noite da ignorância, seguida pelo dilúvio de erudição mal orientada, que abafou o lampejo. Agora, no entanto, começamos a lidar com o que poderão ser objetos verdadeiramente básicos e extremamente simples, e talvez as ideias dos pitagóricos, adormecidas e desprezadas durante séculos, possam enfim florescer.

Platão, por exemplo, supunha que os objetos matemáticos existiam realmente e não eram meras criações da mente. É possível que, num certo sentido a definir, Platão tivesse razão e que haja uma certa realidade num objeto matemático — uma realidade quanto aos números inteiros e a um círculo perfeito realmente existente. Mas também é possível que as suas ideias precisem de ser interpretadas num idioma mais moderno. Quer se conclua que

* *tetraktys* (símbolo sagrado da escola pitagórica, representado por um triângulo formado por dez pontos em quatro filas, considerado a síntese da harmonia e da ordem cósmica).

Platão estava “certo” porque, após interpretação, as suas ideias podem ser confirmadas, quer não, a questão é de interesse mais amplo, pois tem implicações para a nossa atitude perante relatos míticos da criação. Devemos considerar o relato do Génesis “correto” porque podemos ver nele ressonâncias com o que pensamos que realmente aconteceu, mesmo que o comité de autores do Génesis não soubesse verdadeiramente do que falava? Todas as religiões, exceto a ciência, adquirem autoridade a partir da ambiguidade.

Heráclito de Éfeso defendia que a razão pela qual conseguimos compreender o universo é que cada um de nós contém o logos, a centelha divina. Um Heráclito moderno poderia afirmar que essa mesma centelha divina pode gerar a matemática que usamos para descrever e descobrir o mundo, e que, por isso, não é surpreendente que a nossa cognição do mundo possa ser expressa e interpretada em termos matemáticos. Heráclito não sabia exatamente o que queria dizer, e estava apenas a criar uma estrutura para o seu pensamento, mais do que a apresentar o pensamento em si; farei o mesmo nas brasas deste ensaio.

Pitágoras, Platão e Heráclito tinham todos o espírito certo, mas provavelmente somos nós, e não eles, quem pode começar a ver o que talvez tenham tentado significar. Quem desenterrou a nossa questão atual do entulho de séculos que se seguiu à sua formulação inicial foi Copérnico. A revolução copernicana preocupava-se, à superfície, apenas com a questão de saber se o Sol girava em torno da Terra ou vice-versa. A sua preocupação profunda era saber se os modelos matemáticos são descrições da realidade. É possível

prever o movimento dos planetas quer no sistema geocêntrico ptolomaico, quer no sistema heliocêntrico copernicano, e, em certos casos, o primeiro pode até ser mais fácil de usar, pois coloca a origem das coordenadas no ponto de observação. No entanto, a revolução copernicana convida-nos a selecionar o sistema copernicano como a imagem “verdadeira” da realidade. Despertou-se assim o pensamento adormecido de que as nossas fórmulas matemáticas são modelos do mundo real.

Se saltarmos para a nossa Era, não podemos deixar de nos impressionar com o sucesso com que a matemática parece dar conta do mundo. A mecânica quântica permite calcular propriedades do eletrão com uma precisão de cerca de dez algarismos significativos. As equações de campo de Einstein não são apenas elegantemente simples, mas têm consequências que se revelam experimentalmente verificáveis — em suma, verdadeiras. Einstein não tentou prever a expansão do universo; de facto, descobriu que as suas equações a previam, detestou a ideia e improvisou uma teoria mais feia para a impedir, apenas para ficar surpreso quando se verificou realmente que o universo se expandia³. Hoje usamos a matemática para construir modelos das partículas fundamentais e das suas interações, e estamos entusiasticamente próximos de fazer previsões fiáveis sobre as suas consequências. Como é que isto é possível? Por que funciona a matemática? E, mais ainda, por que funciona tão bem?

Nunca se deve esquecer que matemática e observação se contorcem juntas na direção da verdade. O processo de descoberta do mundo é frequentemente uma sequência de alternâncias entre

observações e matemática, na qual as observações são esticadas como uma pele sobre uma espécie de molde matemático. Refinamo-nos e impulsionamo-nos num mapeamento do mundo físico avançando aos solavancos, comparando constantemente as nossas expectativas, baseadas na teoria vigente, com as observações que ela própria sugere.

Um exemplo deste procedimento é dado pela teoria quântica e, em particular, pelo princípio da incerteza⁴. Embora a maioria das pessoas pareça considerar que o princípio da incerteza destrói qualquer hipótese que antes tivéssemos de compreender o mundo, é mais otimista (e talvez mais correto) considerá-lo como um indício de que o nosso molde de compreensão do mundo, inspirado na física clássica, é excessivamente elaborado. A física clássica — a física do quintal da experiência quotidiana — forjou um molde que nos levou a esperar poder descrever o mundo usando simultaneamente a linguagem da velocidade e da posição. A mecânica quântica desfere o seu machado contra esta visão ingénua e superficial. Lembra-nos do que deveria ser óbvio: que as teorias inspiradas no quintal podem ser demasiado grosseiras e pouco sofisticadas, demasiado cobertas pelo esterco da sua própria origem. Ela fornece-nos um molde que, na prática, nos obriga a escolher uma linguagem ou outra. Diz-nos para falar em termos de posição ou de velocidade, mas nunca misturar as duas. Diz-nos para falar alemão em frases completas ou inglês em frases completas, mas não começar uma frase em alemão e terminá-la em inglês. A mecânica quântica diz-nos que a matematização da Natureza deve ser feita usando fórmulas retiradas da linguagem da posição ou da linguagem da velocidade. Instrui-nos a separar o molde clássico

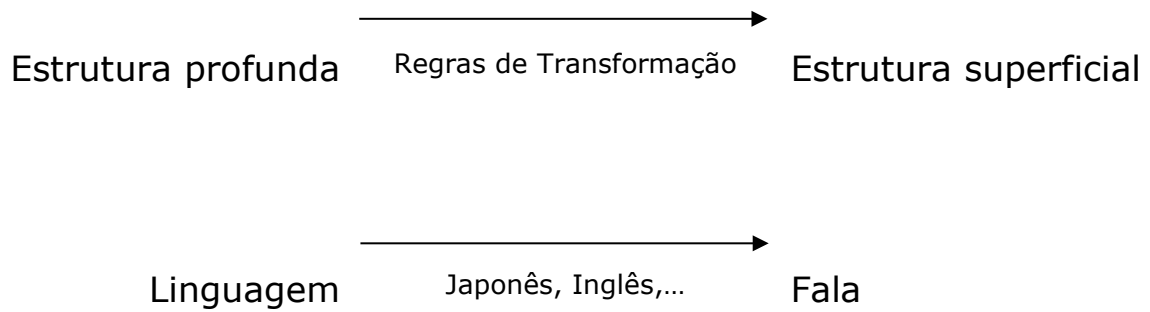
confuso em duas folhas e a usar uma ou outra. A mecânica quântica clarifica a nossa visão do mundo e, ao fazê-lo, expõe de forma mais nítida a sua estrutura matemática. Este é apenas um exemplo. No fim — se é que existe um fim — possuiremos uma teoria matemática do universo que se ajustará a ele em todos os testes: a correspondência entre a realidade e o molde será exata, e teremos uma teoria de tudo.

Para progredirmos na nossa questão, devemos explorar algumas das pistas que parecem espalhadas por todo o lado. As pistas são coisas valiosas, pois podem ser arco-íris que assinalam ouro intelectual enterrado. Nas páginas que restam, procuraremos identificar pistas, deixá-las florescer ao extremo e observar se surge algo de valioso. Por vezes, daremos de caras com uma parede. Assim tem de ser, pois ninguém sabe ainda por que razão a matemática funciona. Mas, uma vez localizada a parede, alguém poderá encontrar uma forma de a contornar.

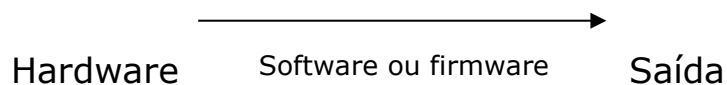
A nossa questão é tão difícil que poderá ser adequado começar por delinear um esboço da resposta para servir de estrutura ao resto destas observações⁵. Iremos acender uma especulação; e, como ganhará um certo ar de autoridade se também tiver um nome, será doravante chamada *hipótese do estruturalismo profundo*. O nome *estruturalismo profundo* pretende transmitir a ideia de que o mundo físico tem a mesma estrutura lógica que a matemática. Por implicação, a razão pela qual a matemática funciona como descrição da realidade física é que ambas partilham a mesma estrutura lógica.

Também será apropriado distinguir entre as formas fraca e forte do estruturalismo profundo. Por *estruturalismo profundo fraco* entenderei que a matemática e a realidade física partilham apenas a mesma estrutura lógica, sendo a matemática um espelho que pode ser erguido diante da natureza. Por *estruturalismo profundo forte* entenderei que a matemática e a realidade física não apenas partilham a mesma estrutura lógica, mas são efetivamente a mesma coisa. Por outras palavras, segundo a hipótese do estruturalismo profundo forte, a realidade física é matemática e a matemática é realidade física.

Antes de verificarmos se existe alguma justificação para esta hipótese, em qualquer das suas formas, poderá ser útil dizer algumas palavras sobre a origem do seu nome. Este provém, naturalmente, da linguística Chomskyana⁶, segundo a qual os cérebros possuem uma capacidade inata, quase como hardware, para a linguagem. A fala seria então uma espécie de estrutura superficial gerada — transformada — a partir de uma estrutura inata. Todos os cérebros humanos parecem ter o mesmo tipo de estrutura inata, pois a língua que uma criança aprende depende apenas do seu ambiente: uma criança japonesa tornar-se-á falante nativa de japonês se for criada num meio japonês, mas tornar-se-á falante nativa de inglês se for criada num meio inglês. O hardware é inato e essencialmente idêntico, mas as estruturas superficiais diferem. Um diagrama típico que mostra esta relação é:

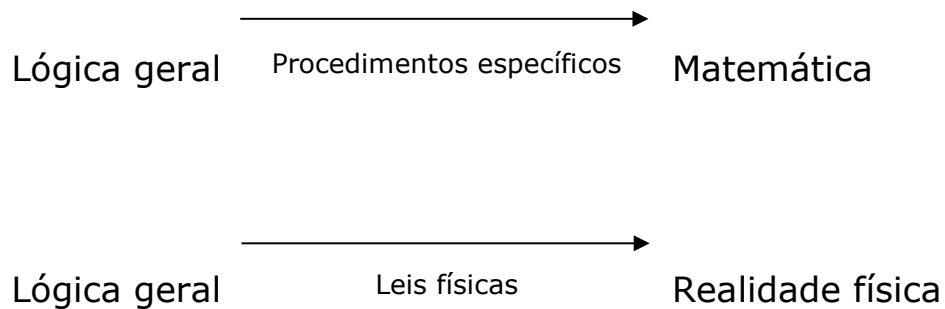


Esta relação pode ser expressa com uma inclinação um pouco mais tecnológica:

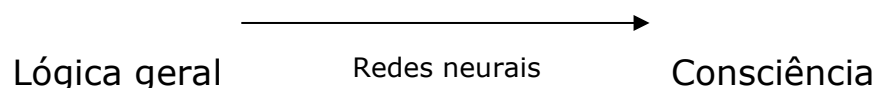


Esses mapeamentos voltarão a surgir mais adiante, quando considerarmos a aquisição de capacidades, um talento que se revelará como uma característica-chave na nossa compreensão da criação.

O ponto principal, nesta fase da discussão, é que a hipótese do estruturalismo profundo supõe que se podem acrescentar mais dois mapeamentos a esta tabela:



Se preferir o estruturalismo profundo fraco, o estruturalismo baunilha, considerará as duas últimas linhas como analogias mútuas. No entanto, se preferir o estruturalismo profundo forte, o estruturalismo morango, considerá-las-á idênticas. Para que possamos ter diante de nós toda a estrutura, acrescentaremos mais uma linha à tabela:



Estas ideias serão desenvolvidas e esclarecidas à medida que avançarmos, mas já é possível perceber que, mesmo na versão baunilha, esta especulação explica de forma rudimentar a capacidade da matemática para descrever o mundo físico, pois existe, de certo modo, uma ressonância entre a estrutura da matemática e o que se revelará ser a estrutura fundamental do mundo físico. A razão pela qual podemos estar conscientes do

mundo, incluindo o mundo interior, introspetivo, das emoções e do intelecto, pode residir no facto de os nossos cérebros serem representações materiais dessa mesma estrutura profunda. Esta poderá também ser a razão pela qual os cérebros conseguem gerar a matemática de que precisamos para compreender o mundo. Pode haver um grão de verdade no conceito do logos, mas, em vez de uma divindade partilhada, pode tratar-se de uma estrutura partilhada. Se assim for, então há esperança para nós na nossa busca de compreender tudo — literalmente tudo —, pois os nossos cérebros estão equipados para lidar com seja o que for que exista.

A descrição matemática do mundo depende de reunir números de determinada forma. As fórmulas da física teórica, por exemplo, são enunciados generalizados sobre quantidades. Assim, a equação do movimento de Newton, *Força = massa × aceleração*, é um enunciado generalizado sobre observações expressas numericamente, relacionadas com movimento e forças. Resume toda uma classe de comportamentos, independentemente da identidade do objeto que sofre a aceleração e dos valores numéricos concretos que se escolham. Uma fórmula da física teórica é um resumo generalizado das relações entre medições. Os números que tal fórmula resume são também generalizações. Especificamente, os números são generalizações de listas. Assim, o número 2 é uma generalização de “Smith e Jones” e “maçã e maçã”; os números derivam de conjuntos, e a aritmética é um aspeto da lógica dos conjuntos.

A relevância destas observações é que os números, além de condensarem a essência dos conjuntos, são também a moeda

universal do cálculo e da exposição: a física só começou verdadeiramente quando as pessoas começaram a expressar numericamente as observações e a procurar relações entre números provenientes de diferentes classes de observação (por exemplo, as relativas à força, à massa e à aceleração). As manipulações numéricas características da física são, na realidade, enunciados sobre lógica, e escrever $6 = 3 \times 2$ — que é um caso muito particular da equação de Newton, numa determinada escolha de unidades — é, na verdade, uma versão condensada de um enunciado de lógica geral.

Podemos perceber, mesmo que no íntimo seja difícil aceitar, pois sentimos um apego feroz à tangibilidade do tangível, que existe um parentesco entre a observação (o nosso único contato com a realidade) e a lógica. Aspetos do universo são resumidos por fórmulas matemáticas; as fórmulas são enunciados generalizados sobre as relações entre quantidades; essas quantidades são expressas numericamente; logo, as fórmulas são enunciados sobre relações entre números; enunciados sobre números são, de facto, enunciados de lógica geral. Assim, entrevemos a pista de que as fórmulas da física são expressões sobre alguma estrutura lógica subjacente ao universo — e isto é precisamente o conteúdo do estruturalismo profundo.

Agora, seria perfeitamente razoável parar neste ponto e dizer que não há possibilidade de distinguir entre as variantes do estruturalismo profundo. No entanto, há pistas à nossa volta que apontam para a validade de um vigoroso estruturalismo profundo

forte, distinto do pusilânime estruturalismo profundo fraco, e que, portanto, indicam que o mundo físico é matemática.

A maior pista de todas é que parecemos existir e, portanto, a descrição matemática da origem do mundo deve acomodar o surgimento do aparentemente algo a partir do certamente nada. Já vimos que o aparentemente algo é, na verdade, nada elegantemente reorganizado, e que o conteúdo líquido do universo é agora o mesmo que sempre foi e sempre será, mundo sem fim: nada. Que matemática pode reproduzir o surgimento de algo a partir do nada? Nada mais do que os números puros!

Assim, para ver os números surgirem do conjunto vazio $\emptyset$ — o conjunto com conteúdo nulo: absolutamente nada —, damos-lhe primeiro o nome de “0” e escrevemos⁷:

$$0 = \emptyset$$

O conjunto que contém o conjunto vazio é nomeado “1”, e escrevemos:

$$1 = \{\emptyset\}$$

Pelo número 2 entendemos o conjunto que contém tanto o conjunto vazio como o conjunto que contém o conjunto vazio:

$$2 = \{\emptyset, \{\emptyset\}\}$$

Para o 3, as palavras quase falham, mas deve estar claro que 3 é o nome de:

$$\{\emptyset, \{\emptyset\}, \{\emptyset, \{\emptyset\}\}\},$$

e assim por diante, passando pelo 4, 5, e indefinidamente, cada vez mais labirinticamente. Já vimos que os números são a moeda da física, e aqui temos eles a saltar do nada — do conjunto vazio.

Argumentámos anteriormente que não há nada no universo. Agora devemos notar que os números continuam a ser, essencialmente, coleções do conjunto vazio, continuam a ser aglomerados de absolutamente nada. Embora aparentemente tenhamos uma coleção de números, na realidade temos apenas conjuntos de conjuntos do conjunto vazio. Temos a ilusão de algo, não algo em si; a origem da matemática é, pelo menos, um espelho da origem do cosmos. Pode ser que as estruturas lógicas da matemática e do universo tenham surgido simultaneamente e sejam idênticas. A estrutura profunda do universo pode ser um aglomerado globalmente autoconsistente do conjunto vazio. Nós, tal como a matemática, e quer gostemos ou não, somos reorganizações elegantes e autoconsistentes do nada.

O tipo de questão que agora pode surgir é se tudo o que é matemático tem o seu equivalente no mundo real. Se o mundo físico é matemática, então não deveria existir nele toda e qualquer estrutura matemática? Isto pode ser expresso de forma ligeiramente diferente: estará toda a matemática à espera de ser

descoberta no mundo físico? Se apenas o estruturalismo profundo fraco for verdadeiro, então isso não é necessariamente assim, pois poderá existir apenas um homomorfismo, e não um isomorfismo, entre a realidade e a matemática. No entanto, se o estruturalismo profundo forte for válido, então, presumivelmente, a realidade conterá uma entidade física que seja o equivalente de cada uma das estruturas matemáticas.

À primeira vista, isso não parece ser o caso. Podemos escrever o teorema de Pitágoras para um espaço de 1000 dimensões espaciais:

$$(\textit{hipotenusa})^2 = x_1^2 + x_2^2 + \cdots + x_{1000}^2$$

mas, como aparentemente não vivemos num espaço com 1000 dimensões espaciais, esta expressão não parece ter um equivalente na realidade. Do mesmo modo, podemos apresentar a matemática da teoria de Bohr do átomo de hidrogénio, mas sabe-se que esse modelo é falso. Assim, à primeira vista, parece que o estruturalismo profundo forte não pode funcionar.

Podem existir duas formas de resolver esta dificuldade. Uma é a derrota, sempre a opção mais fácil para os fracos de coração e, por vezes, a mais sábia. Poderíamos recorrer ao estruturalismo profundo fraco, assumir que a matemática pode produzir uma espuma de muitas classes de objetos, e depois aceitar que apenas alguns desses objetos têm os seus equivalentes físicos. Isto seria o estruturalismo profundo fraco-fraco. Contudo, suponhamos que as pistas que conduziram à especulação do morango são tão

convincentes (ou o objetivo desejado tão magnético) que temos confiança (ou, pelo menos, somos possuídos por uma determinação temerária) de que essa ideia pode ser salva. Para tal, talvez seja necessário distinguir entre o universo, que presumivelmente deve ser globalmente autoconsistente, e uma entidade local, um cérebro, que pode gerar estruturas matemáticas livres da restrição de terem de ser consistentes com a estrutura de cada eletrão e o movimento de cada planeta. A estrutura matemática que chamamos “universo” poderá ter de ser simultaneamente, globalmente e talvez não localmente autoconsistente. A nossa matemática, as afirmações que fazemos no papel, precisam, de certo modo, de ser apenas localmente autoconsistentes. Assim, em vez de considerarmos que o teorema pitagórico de 1000 dimensões elimina o estruturalismo profundo forte, a sua existência meramente conceptual e local pode sugerir que a teoria do universo deva ser um estruturalismo profundo forte *não local*.

Estas especulações conduzem-nos naturalmente à questão dos cérebros e das suas funções. Recorde-se que uma parte da estrutura especulativa do estruturalismo profundo é que os cérebros podem gerar matemática porque, de certo modo, são retratos químicos (os biólogos diriam biológicos e os físicos, físicos) de uma estrutura lógica subjacente: os cérebros são realizações materiais da lógica. O facto de podermos estar conscientes do mundo é, no seu nível mais profundo, uma manifestação da ressonância entre a estrutura profunda de um cérebro e a estrutura profunda do universo.

Aqui abre-se uma porta perigosa, com a inscrição “Come-me”. Poderíamos “Alice” através da porta do “Come-me” e alcançar uma falsa iluminação, adotando a perspectiva de que, como os cérebros são construídos a partir da mesma substância que a matemática, então estariam naturalmente predispostos a compreendê-la e a criá-la*. Esta abordagem é demasiado simplista. Suspeito que existe uma razão mais profunda para a capacidade dos cérebros de entrar em ressonância com a realidade e de a comentar. Os ranúnculos não pensam, e, no entanto, também são constituídos por matemática. Se os ranúnculos não cogitam, mas nós sim, embora ambos sejamos feitos da mesma substância última, então

* Ou seja,

1 “Porta perigosa”

→ Significa que há uma ideia tentadora, mas enganadora, que pode levar a conclusões erradas ou simplistas.

2 “Inscrição ‘Come-me’”

→ Referência direta ao momento em que Alice encontra bolos com a inscrição (Come-me). Na história, comer o bolo provoca uma transformação repentina (crescer ou encolher). Aqui, simboliza uma ideia que, se “ingerida” (aceite sem questionar), muda imediatamente a forma como pensamos.

3 “Poderíamos “Alice” através da porta do “Come-me”

→ É uma forma lúdica de dizer: poderíamos seguir esse impulso e atravessar para uma nova forma de pensar — mas talvez seja uma ilusão.

4 “Falsa iluminação”

→ **Aqui está o aviso: essa nova perspectiva pode parecer reveladora, mas não é necessariamente verdadeira ou sólida.**

5 A perspectiva em questão

→ A ideia enganadora seria assumir que:

- Como o cérebro é feito de matéria que obedece às leis da matemática,
- Então estaria naturalmente predisposto a compreender a matemática e a criá-la.

O autor alerta que isto não é necessariamente assim. É um salto lógico perigoso: do facto de a realidade (e o cérebro) obedecer à matemática, não se segue automaticamente que a mente compreenda ou crie matemática de forma inata.

Em resumo:

O “bolo Come-me” é a crença sedutora de que a matemática é automaticamente compreensível pelo cérebro por causa da sua estrutura física. Parece lógico, mas pode ser uma armadilha conceptual — tal como Alice, ao comer o bolo, não sabia exatamente no que se estava a meter.

a diferença deve residir na complexidade das nossas estruturas, que emergiu do processo da evolução.

Os cérebros capazes de gerar a matemática que reflete a realidade evoluem como um subproduto da aprendizagem necessária para lidar com o ambiente. Os cérebros humanos, capazes de matemática, não evoluíram porque houvesse vantagens seletivas em saber resolver equações quadráticas ou escrever equações de campo tensoriais. Não é necessário saber resolver as equações de Newton, muito menos as de Einstein, quando se é um macaco: é melhor simplesmente saltar para o lado. Contudo, de alguma forma, as competências necessárias à sobrevivência desenvolveram precisamente essa faculdade; e, em virtude da sua não linearidade, os cérebros parecem ter transcendido as exigências evolutivas.

Isto sugere, talvez, que a estrutura física do cérebro é um retrato material da lógica que o ser encontra no mundo. Em certa medida, esta capacidade é herdada, mas tem também um componente ambiental. Mais uma vez, uma analogia linguística pode fornecer a pista de que precisamos. Uma criança é capaz de se tornar falante nativa de qualquer língua; um adulto, em geral, não. Pelo menos alguns tipos de aprendizagem estão correlacionados, neurofisiologicamente, com a perda de sinapses. Se a teoria da maturação das redes neuronais, através da estabilização seletiva de algumas sinapses e da eliminação do excedente, estiver correta, então podemos considerar a aprendizagem do japonês como uma espécie de atrofia da estrutura correspondente às regras de transformação que não são necessárias para o japonês, e o

processo de aprendizagem do inglês como a atrofia da estrutura sináptica correspondente às regras de transformação que não são necessárias para gerar o inglês como estrutura superficial. Esta abordagem eliminatória da aprendizagem parece ser consistente com a dificuldade que falantes nativos de uma língua têm em aprender outra mais tarde. Explica também, de forma elegante, o facto de diferentes indivíduos terem redes neuronais com morfologias muito distintas, mas acabarem por pensar de forma semelhante e falar a mesma língua. O cérebro evoluiu como uma rede altamente redundante, um computador generalizado e semiflexível, que pode ter aspetos do seu ambiente impressos numa rede exuberantemente desenvolvida e apenas parcialmente predeterminada geneticamente.

Em algum ponto daqui pode-se perceber vagamente que um cérebro se desenvolve como uma rede que é, tal como o próprio universo, globalmente autoconsistente. É preparado para esse desenvolvimento por pressões evolutivas que o levam a possuir uma morfologia plástica capaz de acomodar e processar perceções do mundo. No decurso do desenvolvimento das suas capacidades de processamento, descarta inconscientemente aquelas sinapses que o tornariam menos do que globalmente autoconsistente, deixando-o como um microcosmo do macrocosmo. Ou seja, a estrutura profunda do cérebro poderá estar em ressonância com a estrutura profunda não apenas da matemática, mas também do universo físico. Mas aqui deparo-me com uma parede.

No entanto, avancemos daqui e consideremos algumas das implicações do estruturalismo profundo. Um ponto positivo é que

podemos atualmente perceber o surgimento de um novo paradigma da ciência, que poderá ser, por assim dizer, uma dádiva do céu, para lidar com as questões profundas que temos explorado. Suspeito que os dias da nossa abordagem analítica à física possam estar contados. O impulso principal da física matemática até recentemente tem sido a formulação de equações diferenciais e a descoberta das suas soluções analíticas: o espanto da física tem sido (e ainda é) o poder com que uma expressão analítica resume uma vasta extensão de observação e previsão. O novo paradigma de explicação que parece estar a emergir baseia-se na visão de que mesmo equações simples podem ter consequências de complexidade profunda. Assim, embora possamos conhecer a semente de um padrão e especificar as regras muito simples de transformação dessa semente, não podemos prever o resultado da aplicação repetida dessas regras iniciais. Uma complexidade extraordinária pode florescer a partir desta simplicidade intrínseca, como se pode apreciar examinando as imagens fascinantes que podem surgir de fractais, do conjunto de Mandelbrot e de autómatos celulares. Estas imagens são de uma beleza infinita, e nelas transcendemos talvez o tetraktys e as suas harmonias, tocando possivelmente as fontes da nossa percepção da beleza⁸. A física matemática e a estética fundiram-se, e a ciência está pronta para se tornar inteira.

Já é possível ver onde tais conceitos podem ser aplicados à descrição do mundo real. Conhecemos a semente no gene — a molécula de ADN — e conhecemos as regras para a transcrição da sequência de bases em proteínas; mas talvez, como num padrão de complexidade infinita, não haja hipótese de prever a morfologia

de um ser mesmo conhecendo o seu ADN. O mesmo poderá ser válido para o processamento de sinais no cérebro. Embora possamos, eventualmente, conhecer toda a circuitaria de um cérebro individual, e particularmente a simulação de um cérebro, e possamos modelar os seus modos multicanais de neurotransmissão, talvez nunca consigamos prever o resultado de um dado estímulo senão o simulando diretamente.

Não só a teoria do caos nos proporcionou um novo paradigma de compreensão, como pode ser exatamente aquilo de que precisamos para a descrição matemática da consciência. O facto de precisarmos de um computador para explorar as ramificações da complexidade, e de um computador binário ser o tipo mais simples concebível de computador, pode apontar para uma analogia profunda entre a lógica booleana e o funcionamento dos nossos cérebros. Os computadores binários podem espelhar precisamente a estrutura profunda do universo.

QUINTA ORIENTAÇÃO

Pode ser que o compreensível seja compreensível devido à profunda semelhança estrutural, e talvez até à identidade real, da matemática e da realidade. Os gregos poderão ter estado certos. A origem dos números a partir do puro vazio pode revelar-se mais profunda do que uma mera analogia entre o surgimento de um sistema e o surgimento de um cosmos: talvez, no desdobrar do vazio, consigamos discernir a forma futura de uma teoria científica da criação.

O surgimento do espaço e do tempo é o evento central da criação. Assim, voltamo-nos agora para o problema de expressar os processos que o trouxeram à existência. Primeiro, pensaremos em algo que possa ser ordenado no que agora reconhecemos como espaço-tempo. Depois, teremos um vislumbre de como pode ser possível permitir que a mão ajudante do criador infinitamente preguiçoso deixe escapar a última ajuda, como se largasse a ponta da unha. A necessidade do criador será vista a desvanecer-se. Então, à medida que o criador deixa de intervir, o universo passa a existir sem intervenção externa, a partir de absolutamente nada⁹.

CAPÍTULO 6

Criando Coisas

A GORA VOLTAMOS ATRÁS NO TEMPO, PARA ALÉM DO MOMENTO DA CRIAÇÃO, para quando não havia tempo e para onde não havia espaço. Deste nada surgiu o espaço-tempo, e com o espaço-tempo surgiram as coisas. Com o tempo, surgiu também a consciência, e o universo, inicialmente inexistente, tornou-se consciente.

Agora, no tempo antes do tempo, existe apenas simplicidade extrema. Na verdade, não existe nada; mas, para compreender a natureza deste nada, a mente necessita de algum tipo de apoio. Isso significa que temos de pensar, pelo menos por agora, em algo. Assim, apenas por um momento, vamos pensar em quase nada.

Tentaremos não pensar no próprio espaço-tempo, mas no espaço-tempo antes de se tornar espaço-tempo. Embora eu não possa explicar exatamente o que isto significa, tentarei indicar-lhe como pode começar a imaginá-lo. O ponto importante a compreender é que é possível conceber um espaço-tempo sem estrutura, e que é também possível, com alguma reflexão, construir uma imagem mental desse estado geometricamente amorfo.

Imagine as entidades que estão prestes a agrupar-se para formar o espaço-tempo e, mais tarde, elementos e elefantes, como se fossem um pó sem estrutura. Agora, no momento de que falamos, não há espaço-tempo, apenas o pó a partir do qual o espaço-tempo será construído¹. A ausência de espaço-tempo, a ausência de geometria, significa simplesmente que não se pode dizer que este ponto esteja próximo ou distante daquele; nem que este preceda ou siga aquele. Agora há absoluta amorfidade. Mais tarde, teremos de varrer o pó; mas isso resolver-se-á por si, como todas as simplicidades.

Antes de prosseguir, quero fazer uma observação sobre mudanças como congelar, ferver e a evaporação da geada, e a sua relação com os padrões nos papéis de parede. A nitidez de tais mudanças depende da dimensionalidade do espaço onde ocorrem. Num universo unidimensional, uma gota de água não congelaria de forma nítida, mas solidificaria lentamente, como manteiga, à medida que a temperatura fosse diminuindo. Em duas dimensões, o congelamento seria mais nítido, e em três dimensões, mais nítido ainda. A nitidez deste tipo de mudança pode ser investigada em espaços com diferentes números de dimensões (incluindo até espaços com frações de dimensão). Pode-se seguir o aumento da nitidez à medida que o número de dimensões cresce de forma contínua: um, um e meio, dois e três, até quatro dimensões e além. Nas quatro dimensões, a nitidez atinge um pico e, a partir daí, mantém-se praticamente inalterada.

A nitidez de mudanças como estas resulta da colaboração entre vizinhos. Quando uma molécula tem muitos vizinhos, a sua

reorganização para formar um novo tipo de material — como na transição de líquido para sólido ao congelar — é cooperativa e processa-se rapidamente. À medida que o número de dimensões aumenta, também aumenta o número de objetos na vizinhança imediata de um ponto. Como resultado, as transições tornam-se mais nítidas. Mas, nas quatro dimensões, cada ponto tem tantos vizinhos que qualquer aumento adicional se torna insignificante. Com o aumento da dimensionalidade veio também o aumento da complexidade, e essa complexidade está, de facto, completa quando a dimensionalidade atinge quatro².

Uma ideia da rapidez com que a complexidade aumenta com a dimensionalidade pode ser obtida pensando em padrões. Um espaço unidimensional é como um friso, e verifica-se que existem apenas sete tipos básicos de padrão: todos os frisos que alguma vez foram feitos podem ser classificados num destes sete tipos. Um padrão bidimensional é como um papel de parede. Existem dezassete padrões distintos de papel de parede. É claro que há muitos mais *desenhos*, porque a simetria subjacente dos dezassete padrões pode ser expressa de várias formas, com flores de diferentes tipos, pavões, formas e cores. Mas toda essa enorme diversidade de desenhos pode ser incluída numa das dezassete classes. O aumento da complexidade do espaço bidimensional reflete-se na passagem de sete para dezassete. E quanto ao espaço tridimensional? Existem 230 padrões tridimensionais diferentes. Outra forma de dizer isto é que existem 230 tipos básicos de cristal: 7, 17, 230... O número de padrões em quatro dimensões é cerca de 5000. Vê-se como esta série aumenta de forma explosiva, e que,

nas quatro dimensões, existe uma complexidade muito maior de padrões possíveis³.

A criação foi como o congelamento da água. No momento da criação, o pó sem estrutura de pontos transformou-se na ordem que agora reconhecemos como espaço-tempo. O espaço-tempo é quadridimensional porque, assim, cada ponto está numa vizinhança de complexidade suficiente para possuir propriedades ricas — propriedades que correspondem ao que hoje reconhecemos como partículas e forças, e propriedades que têm como consequência conferir estabilidade. Além disso, os padrões — os nós — ficam presos na persistência pelas três dimensões do espaço e adquirem consequências para o futuro devido à dimensão única do tempo⁴.

O espaço-tempo emergiu por acaso a partir do seu próprio pó. Não houve necessidade de intervenção. Antes de o tempo e o lugar se formarem, havia pontos não relacionados, pontos que ainda não estavam interligados. Faltava-lhes geometria e, por isso, ainda não eram espaço-tempo.

Imagine o pó primordial a rodopiar e a aglomerar-se momentaneamente em enxames. Inicialmente, não existem relações entre os pontos: não se pode dizer que aquele ponto esteja próximo deste ou que um preceda o outro, pois proximidade e sequência ainda não têm significado⁵.

Os pontos em rodopio podem reunir-se em número suficientemente grande para que relações — padrões, nós — se

estabeleçam, pelo menos local e temporariamente. Por vezes, uma porção dessa geometria pode formar-se fora do tempo; por vezes, pode haver uma porção de tempo a existir fugazmente fora do espaço. Por vezes, regiões de pontos organizadas em padrões que incluem tanto espaço como tempo podem surgir e, depois, dispersar-se⁶.

A probabilidade de o acaso constituir uma região de espaço com doze dimensões e de tempo com quinze dimensões é muito baixa. Um espaço-tempo assim é improvável de flutuar para a existência, porque o grau de ordenação não assistida necessário para estabelecer uma estrutura tão complexa é demasiado elevado. Mas uma faixa unidimensional de espaço ou tempo (são indistinguíveis numa dimensão) pode, ao acaso, agitar-se e surgir na existência. Essa existência nasce através da ordenação fortuita e aleatória de pontos até então não relacionados, tal como poeira real pode formar, ao sabor do vento, uma linha no ar. E, tal como a poeira real, desfaz-se: com a sua baixa dimensionalidade, há uma pobreza de vizinhos e, conseqüentemente, uma escassez de riqueza nas suas propriedades. O efémero universo unidimensional gerado pelo acaso desfaz-se, e a sua estrutura incipiente retorna à ausência de estrutura⁷.

Noutros lugares (mas ainda não existe lugar) e noutros tempos (mas ainda não existe tempo em parte alguma), o pó do espaço-tempo forma-se, por acaso, em minúsculos universos unidimensionais. Mas, ao cintilarem para a existência, não conseguem sobreviver e não deixam rasto. Formam-se vastos números de tais universos natimortos. Chegam a constituir um

lugar ou a estabelecer uma época; mas falham, dispersam-se e morrem sem história.

O cintilar fugaz do surgimento de um universo incipiente pode ser visualizado como um tropeçar de pontos, sem direção nem propósito, até formarem um padrão. Entre esse vasto número de eflorescências fortuitas, há uma ou duas (ou um número vasto, mas igualmente reduzido) menos prováveis e mais complexas que constituem um universo bidimensional. Muitos, nesse vasto conjunto improvável, formam-se de modo a definir um espaço bidimensional sem tempo, sendo, portanto, apenas superfícies sem duração. Outros formam-se, novamente ao acaso, em verdadeiros espaços-tempos bidimensionais, com uma linha de espaço e uma direção de tempo. Mas ainda lhes falta complexidade suficiente para sobreviver. Não têm mais hipóteses de sobrevivência do que um aglomerado de partículas de pó num raio de sol que, por um instante, toma a forma de uma folha. Tais universos formam-se — e, fora do nosso próprio espaço e tempo, continuam a formar-se — , mas não estão destinados a persistir. Tal como vêm, assim vão. Colapsam de volta no pó sem estrutura de onde o acaso os moldou. Não deixam rasto no espaço nem no tempo, pois criaram o seu próprio espaço, definiram o seu próprio tempo e, quando morrem, o seu espaço-tempo morre com eles.

Os universos unidimensionais eram padrões improváveis de pontos. Os universos bidimensionais eram padrões ainda mais improváveis desses mesmos pontos, dispostos em relações mais complicadas e mais ricas, mas ainda insuficientemente ricas. Muito menos provável é ainda o agrupamento fortuito que leva a um

espaço-tempo de três dimensões. Mas mesmo este espaço-tempo é estruturalmente demasiado frágil. Os pontos, nestes universos, são mais ricos em vizinhos do que em qualquer um dos dois universos predecessores mais prováveis (que, estando fora do espaço e do tempo, após se evaporarem não são verdadeiros predecessores, e estão a formar-se e a evaporar-se noutro “alhures” e noutro “agora”). Mas, por não serem suficientemente ricos, não conseguem sobreviver à sua própria formação. Flutuam a partir do pó, mantêm-se tão pouco estruturados como uma nuvem de poeira e regressam ao pó. Vastíssimos números de tais universos tridimensionais surgem por acaso e regressam, pela pobreza estrutural, ao pó.

Então (seja lá o que isso signifique), por acaso, um agrupamento de pontos tropeçou num padrão de tal complexidade que correspondia a quatro dimensões — mas eram quatro dimensões de espaço, sem tempo. Isso é rico em complexidade de inter-relações, mas não suficientemente sofisticado para sobreviver. Como tanta poeira, esse aglomerado fortuito desfaz-se de volta em pó sem estrutura⁸.

Não houve espera por outro padrão quadridimensional, porque não existe espera fora do tempo. Um desses padrões era espaço-tempo quadridimensional. Sabemos que, pelo menos uma vez, ele de facto ocorreu. Podemos também suspeitar que continua a ocorrer fora do nosso espaço e do nosso tempo; mas a nossa ondulação particular de pó é aquela que tem consequências para nós. Essa flutuação específica foi o tropeçar dos pontos no padrão

que reconhecemos como três dimensões de espaço e uma dimensão de tempo. Por acaso.

A flutuação de que somos a ramificação era quadridimensional e, portanto, rica em complexidade em cada vizinhança. Além disso, a sua geometria era uma geometria de espaço-tempo. Como tal, era capaz de sustentar e manter a complexidade de relações que interpretamos como matéria e forças. De repente, por acaso, temos um universo que é um conjunto de relações viáveis. Essas relações são suficientemente subtis e complexas para que a flutuação atinja estabilidade. Em vez de se dissipar como todas as outras improbabilidades, esta improbabilidade extrema fica congelada na existência. Este universo específico sobrevive. É uma semente para a organização de todo o espaço-tempo. Tropeçámos nele. O universo começou. Por acaso.

Mas o que são estes pontos? De onde vêm? Foram feitos ou emergiram? Ainda há necessidade de criar alguma coisa? Será que a preguiça infinita é inatingível?

Agora estamos no olho da criação. Mas precisamos de mais um conceito, um conceito capaz de explicar o surgimento das coisas a partir do nada. Creio que ele é discernível e gostaria de tentar expressar como poderá ser compreendido.

A chave para o conceito está em notar o cancelamento dos opostos. Se o cancelamento for pensado ao contrário, então os opostos separam-se a partir do nada. O mundo pode ser concebido

como sendo construído através dessa destilação. Na criação, de certo modo, o nada tem de se separar em opostos extremamente simples. Se a separação gerar um padrão suficientemente complexo, os opostos adquirem estabilidade e, então, persistem de forma abundante.

Um exemplo mundano deste comportamento é a existência de matéria e antimatéria. Uma partícula e a sua antipartícula, ao colidirem, colapsam essencialmente em nada, num aglomerado de energia; uma partícula e a sua antipartícula podem ser geradas a partir de praticamente nada. O universo atual fervilha com este tipo de atividade, com energia (espaço-tempo enrolado) a gerar partículas e antipartículas, e estas a colapsarem novamente em energia.

A criação, como enfatizamos, não pode, espontaneamente, dar origem a complexidades tão ricas como partículas e antipartículas já totalmente formadas, quanto mais elefantes e os seus correspondentes. A criação só pode gerar as estruturas mais primitivas — estruturas de tal simplicidade que possam surgir a partir de absolutamente nada. Ainda precisamos de encontrar o mais simples⁹.

O mais simples é epitomizado (não vejo como aplicar um termo mais forte) pela diferença entre um ponto e nenhum ponto, ou entre um e menos um. No cerne, a base do universo deve ser tão simples como a diferença simbolizada por 1 e -1, ou por “sim” e “não”, ou (de forma mais prosaica) por “verdadeiro” e “falso”. Os blocos fundamentais de toda a criação devem ter esta forma binária

simples. Nada mais simples possui propriedades. Só a diferença simbolizada por 1 e -1, por “um” e “não um”, ou “ponto” e “nenhum ponto”, é suficientemente simples para ser criada, mas rica o bastante, quando concatenada suficientemente (como na matemática e na lógica), para dar origem a propriedades. Na raiz, o universo é um pó de formas binárias. Esse é o pó do espaço-tempo.

Mas o que traz à existência a distinção dos opostos?

Quero fazer uma última, mas importantíssima, observação preliminar antes de tentar reunir tudo e pintar um quadro geral. Este ponto diz respeito ao papel especial do tempo: o tempo distingue os opostos.

Podemos trabalhar este conceito considerando, mais uma vez, matéria e antimatéria. Uma partícula e a sua antipartícula distinguem-se pela direção da sua propagação no tempo. Em vez de pensar em partículas e antipartículas como espécies separadas, mas suspeitosamente próximas, podemos pensar numa antipartícula como a sua partícula correspondente a viajar para trás no tempo. Um elétron viaja para a frente no tempo; um pósitron é um elétron a viajar para trás no tempo¹⁰.

Os opostos, pelo menos das espécies simples, distinguem-se pela direção do seu movimento no tempo. Isto significa que, assim que temos tempo, temos a possibilidade de distinguir os opostos que, quando não há tempo, se fundem no nada.

Agora, estamos no centro do próprio olho. Talvez para além da sua borda, mas possivelmente ainda deste lado do limite da compreensão. Penso que conseguimos ver os rudimentos da autoiniciação do mundo.

Há dois ingredientes. Primeiro, precisamos dos pontos que se vão agrupar em padrões que definem o espaço e o tempo. Depois, precisamos dos pontos que se separam dos seus opostos por virtude do padrão do tempo. O tempo dá vida aos pontos; os pontos dão vida ao tempo. O tempo trouxe os pontos à existência, e os pontos trouxeram o tempo à existência. Este é o cosmic bootstrap (autoarranque cósmico / auto-organização do universo)¹¹.

Gostaria de tentar expressar esta ideia esquiva (pelo menos, eu acho-a esquiva; mas ainda ao alcance mental) de uma forma ligeiramente diferente. Representámos os opostos pelos símbolos 1 e -1. Como já sugerido, podem ser tomados como representando um ponto e a sua ausência, ou qualquer par de opostos suficientemente simples. O 1 e o -1, no sentido de representar opostos, distinguem-se pela direção em que viajam no tempo: -1 é 1 a viajar para trás no tempo. Na ausência de tempo, -1 e 1 fundem-se em — bem, em $1 - 1 = 0$, ou nada¹².

A especulação central, esquiva, mas ainda apreensível, é que o universo surge em virtude da autorreferência. Argumentámos que 1 e -1, o ponto e a ausência de ponto, constituem o tempo e o espaço quando dispostos de forma apropriada. Mas, para existirem e virem a ser, o ponto e o não-ponto precisam do tempo, pois o tempo separa-os, distingue-os e indu-los a partir do nada. Eis a

autorreferência central: a emergência do tempo a partir do seu pó; pó trazido à existência pelo ato de padronizar o tempo.

Numa palavra, a especulação central é que o espaço-tempo gera o seu próprio pó no processo da sua autoformação. O universo pode emergir do nada, sem intervenção. Por acaso.

SEXTA ORIENTAÇÃO

Argumentei que não há necessidade de nos considerarmos como algo diferente das ramificações do acaso. O universo pode ter tropeçado na sua própria existência, tal como outros universos talvez continuem a tropeçar fora do nosso espaço e tempo, definindo o seu próprio espaço e o seu próprio tempo. Procurei mostrar como o estremecimento para um padrão que possuísse complexidade suficiente para estabilidade foi o tropeço que não precisou de qualquer intervenção. Isso trouxe-nos à existência (e, a seu tempo, tratará da nossa perda de herança). Podemos até começar a discernir como o universo pode vir do nada absoluto, à medida que o tempo induz (por acaso) a sua própria existência.

Este é, realmente, o fim da nossa viagem. Recuámos até ao tempo antes do tempo e seguimos o criador infinitamente preguiçoso até ao seu covil (onde ele, claro, não está). Vimos, mesmo que sem clareza nítida, o surgir das coisas a partir do nada. Em termos amplos, explicámos a natureza do ser em função da natureza do espaço-tempo e das consequências interdependentes

do seu desenrolar enquanto colapsa, sem propósito, para o caos. Estamos no meio desse desenrolar.

Agora, podemos reunir estas especulações e varrer, na imaginação, esta metade da eternidade. Começaremos antes do início, permitiremos uma especulação sem limites e perseguiremos o voo do universo para além do seu futuro¹³.

CAPÍTULO 7

Coisas Criadas

Primeiro, Há o Começo.

No princípio não havia nada. Vazio absoluto, não apenas espaço vazio. Não havia espaço; tampouco havia tempo, pois isto era antes do tempo. O universo estava sem forma e vazio.

Por acaso ocorreu uma flutuação, e um conjunto de pontos, surgindo do nada e tomando a sua existência do padrão que formavam, definiu um tempo. A formação casual de um padrão resultou no surgimento do tempo a partir de opostos coalescidos, o seu surgimento do nada. Do nada absoluto, sem qualquer intervenção, veio a existir uma existência rudimentar. O surgimento do pó de pontos e a sua organização accidental em tempo foi a ação desordenada e desmotivada que lhes deu existência. Simplicidades extremas surgiram do nada.

Ainda assim, a linha do tempo colapsou, e o universo incipiente evaporou, pois apenas o tempo não é suficiente para a existência. Tempo e espaço surgiram noutro lugar, mas também eles se

desmoronaram de volta ao seu próprio pó, à coalescência de opostos, ou simplesmente ao nada.

Padrões surgiram novamente, e novamente, e novamente. Cada vez que o padrão formava um tempo, e através da sua padronização em tempo, os pontos induziam a própria existência. Por vezes, o acaso conduzia a que um padrão formasse duas dimensões do que reconheceríamos como tempo; mas, como o sentido inverso então era alcançável a partir do sentido direto, os opostos não eram distintos. Não havia estabilidade, e os opostos fundiam-se novamente no nada.

Por vezes, o acaso organizava os pontos num espaço assim como num tempo; mas não havia espaço para complexidade, e o padrão que o acaso encontrou desmoronou. Perdeu o tempo e, ao perder o tempo, perdeu a sua existência.

Então, por acaso, ocorreu a nossa flutuação. Os pontos surgiram ao constituírem o tempo, mas, desta vez, neste padrão, o tempo veio acompanhado de três dimensões de espaço. Nasceu uma geometria com complexidade e sofisticação. A sua complexidade advém da densidade dos seus vizinhos e dá-lhe uma sofisticação suficiente para a existência de matéria, energia e forças; e com elas vêm estabilidade, elementos posteriores e, ainda mais tarde, elefantes. Notamos que esta flutuação sobrevive.

A geração inicial do espaço-tempo deixou-o enrolado e torcido. As torções locais transformadas em nós persistentes são as

partículas que agora constituem coisas como elefantes. Diferentes espécies de partículas são diferentes espécies de nós na estrutura do espaço-tempo. Diferentes nós são diferentes agrupamentos (tal como nós quotidianos são diferentes enredos de fio) das entidades binárias que surgiram na criação. Diferentes partículas são, portanto, diferentes estruturas topológicas locais do espaço-tempo. A incorporação destas estruturas locais no espaço-tempo tem consequências distantes. Em particular, induz o fenómeno da gravitação, a torção global do espaço-tempo.

A tendência do universo é atingir a uniformidade global, uma planicidade tridimensional. A energia, que inclui a matéria, é espaço-tempo enrolado. O espaço-tempo enrolado é a mola do universo, e as nossas atividades, como toda a atividade, são aspetos do seu desenrolar. A evolução do universo é a dispersão das ondulações no espaço-tempo¹.

Podem existir duas terminações para o futuro.

Numa delas, os nós afrouxam e desatam, as suas ondulações locais dissipam-se, e o espaço-tempo, a seu tempo, torna-se em todo o lado uniformemente e eternamente plano. O universo continua a existir, mas permanece desenrolado. Falta-lhe atividade e está uniforme e irremediavelmente morto. Todos os vestígios do nosso feito — a nossa arte e o nosso conhecimento — terão sido obliterados e será como se nunca tivessem existido.

Noutra, poderá haver tantos nós locais, e o seu desatamento tão baixo, que a sua torção combinada e total à distância enrola o universo até um ponto, talvez para reemergir de novo. Esse reemergir não é criação, mas renovação. De facto, podemos estar a viver mesmo agora num universo renovado, com a verdadeira criação ocorrida gerações de universos atrás. Universos periodicamente reconstituídos podem constituir uma perpetuidade para o futuro, mas no passado último devem ter surgido uma vez de uma criação verdadeira (a menos que o tempo esteja num círculo).

E finalmente há o presente.

Atualmente, o nosso universo está vivo. A sua vida — a sua atividade em todas as formas — é permitida pelo equilíbrio das forças que governam o movimento, que constituem átomos e que unem átomos em elefantes e galáxias.

Existem as forças mais profundas de todas, as forças que unem os componentes mais básicos do mundo discernível, os quarks. Os quarks, ou pelo menos os seus componentes conjecturados, parecem desprovidos de qualquer estrutura mais profunda, razão pela qual podemos começar a acreditar que a cebola agora está sem casca. São existência sem extensão. Ocorrendo invariavelmente aos três, a força entre eles une-os tão firmemente que separá-los parece tão remoto quanto separar as três dimensões do espaço: essa pode ser de facto a razão da sua inseparabilidade. Nos quarks estamos, ou quase estamos, na manifestação mais primitiva da concatenação subjacente de formas fundamentais, e

separar três quarks pode ser tão impossível quanto separar o espaço².

Existem também outras forças. Há a gravitação, que atua entre tudo — entre massas de energia e matéria, assim como entre diferentes massas de matéria — e que liga o universo num todo de forma débil, mas inevitável e onnipresente. Há também a força elétrica, que liga fracamente os eletrões aos núcleos e forma átomos, estruturas delicadas com a sensibilidade e maleabilidade adequadas à evolução da propriedade subtil da vida. Existem ainda as forças fortes e as forças fracas, as forças que operam entre as partículas elementares, os nós fundamentais do espaço-tempo.

O equilíbrio das forças é crucial para o surgimento da vida consciente, embora universos alienígenas e ignorantes possam povoar o vazio e ter tão pouco propósito quanto o nosso.

Se os núcleos estivessem ligados ligeiramente mais fracos, ou ligeiramente mais fortes, o universo careceria de química; e a vida, aparentemente biologia, mas verdadeiramente física na forma de química, estaria ausente. Se a força elétrica fosse ligeiramente mais forte do que é, a evolução não alcançaria organismos antes que o sol se apagasse. Se fosse apenas ligeiramente mais fraca, as estrelas não teriam planetas, e a vida seria desconhecida³.

O facto de um universo como o nosso ter emergido com a combinação exata de forças pode ter o sabor de um milagre e, portanto, parecer exigir algum tipo de intervenção. Mas nada carece

de explicação de forma intrínseca. Ainda não conseguimos ver suficientemente longe para decidir qual é a explicação correta, mas podemos ter confiança de que intervenção não foi necessária. O acaso pode ter resultado numa série benevolente de forças. Se não tivessem sido tão benevolentes, o universo teria seguido o seu caminho na mesma, mas poderia ter carecido de estrelas e planetas, ou ter desaparecido num instante, ou ter sido eternamente denso. Nesse caso, não teríamos sido mais sábios, nem mais tristes, porque simplesmente não teríamos existido. Mas poderia o acaso, atuando sozinho, ter sido tão afortunado?

O acaso poderia ter tropeçado na fortuna. Não de imediato, mas a seu tempo, pois um universo que passa por ciclos de existência poderia rebentar cada vez com um conjunto diferente de forças. No nosso ciclo do universo, que pode ser o primeiro, mas poderia ser o dez-mil milhões de milhões ou assim desde a verdadeira criação, a estrutura reciclada do espaço-tempo sustenta uma rede de forças que acontece ser exatamente adequada ao surgimento da consciência. Este universo foi constituído, ou reconstituído, por acaso, para despertar, como pode ter acontecido inúmeras vezes antes e pode acontecer novamente no futuro. Podem ter existido universos anteriores sem autoconsciência, e outros ainda mais desprovidos de qualquer característica. Felizmente, eles colapsaram, e chegou a nossa vez, enquanto a vez de outros poderá ainda vir.

O universo pode ser um disparo único. Uma criação, uma única torção da mola, e um desvio irreversível para a uniformidade desenrolada e a planicidade global. Planicidade perfeita, definitiva,

sem atividade e sem expectativa de atividade revivida. Espaço-tempo plano e morto.

Num tal universo, ainda não há propósito por detrás da benevolência das forças. Pode ser o acaso que lhes deu, às forças, a sua intensidade, e nós somos os beneficiários, não sabendo de outra forma se as coisas tivessem sido diferentes, vivos por mero acaso. É possível que a intensidade das forças mude com o tempo, e que vivamos num universo durante uma época em que acontecem por acaso ser benignas. O universo despertou durante esta época de benevolência; a consciência emergiu, não porque fosse necessária, mas simplesmente porque aconteceu, e o universo retornará ao seu sono quando a época passar e as forças adquirirem novas intensidades. Nós, nós o universo, estamos despertos apenas agora, e necessariamente estamos despertos em meio à benevolência.

É possivelmente o caso de que a geração do espaço-tempo numa transição do vazio leve necessariamente às intensidades das forças como as conhecemos, pois as forças são aspetos da estrutura do espaço-tempo. Isso ainda não implica propósito; podemos continuar a ser filhos do acaso sem rumo. As forças, as constantes fundamentais da natureza como a velocidade da luz e a intensidade da carga elétrica, podem não ser mais significativas do que a estrutura, ou a nossa descrição da estrutura, do espaço-tempo, e não deveríamos admirar-nos dos seus valores mais do que admiramos o valor de 1,609344 km por milha ou o valor de π . Para ter certeza de que esta é a explicação, precisamos avançar para a página seguinte da física⁴.

Quando tratarmos dos valores das constantes fundamentais vendo que são inevitavelmente assim, e as descartarmos como irrelevantes, teremos alcançado a compreensão completa. A ciência fundamental poderá então descansar. Estamos quase lá. O conhecimento completo está ao nosso alcance. A compreensão move-se pela face da Terra, como o nascer do sol⁵.

Bibliografia

'Evolution', Scientific American 239, No. 3 (September 1978)

R. Dawkins, The selfish gene, 2nd edn, Oxford University Press (1989)

R. Shapiro, Origins: a skeptic's guide to the creation of life on earth, Heinemann (1986)

S. F. Mason, Chemical evolution, Oxford University Press (1991)

L. Stryer, Biochemistry, 3rd edn, W. H. Freeman (1988). The first eight chapters of this book are available as L. Stryer, Molecular design of life, W. H. Freeman (1989)

P. W. Atkins, Atoms, electrons, and change, Scientific American Library (1991)

S. Mitton (ed.), The Cambridge encyclopaedia of astronomy, Jonathan Cape (1977)

P. A. Cox, The elements: their origin, abundance, and distribution, Oxford University Press (1989)

W. J. Kaufmann, Universe, W. H. Freeman, New York (1991)

N. Calder, The key to the universe, BBC Publications (1977).

C. W. Misner, K. S. Thorne and J. A. Wheeler, Gravitation, W. H. Freeman (1973)

M. Rowan-Robinson, Cosmology, 2nd edn, Oxford University Press (1981)

P. J. E. Peebles, Physical cosmology, Princeton University Press (1971)

S. L. Jaki, 'Olbers', Halley's, or whose paradox?', American Journal of Physics 35, 200-210 (1961)

P. T. Landsberg and D. A. Evans, Mathematical cosmology, Clarendon Press (1977)

- E. Harrison, 'Olbers paradox', *Nature* 352, 574 (1991)
- P. W. Atkins, *Physical chemistry*, 4th edn, Oxford University Press and W. H. Freeman (1990)
- P. W. Atkins, *Quanta: a handbook of concepts*, 2nd edn, Oxford University Press (1991)
- E. Schrödinger, *What is life?*, Cambridge University Press (1969)
- F. J. Dyson, 'Time without end: physics and biology in an open universe', *Reviews of Modern Physics* 51, 447-460 (1979)
- B. J. Carr and M. J. Rees, 'The anthropic principle and the structure of the physical world', *Nature* 278, 605-612 (1979)
- J. D. Barrow and F. J. Tipler, *The anthropic cosmological principle*, Oxford University Press (1986)
- J. C. Polkinghorne, *The particle play*, W. H. Freeman (1979)
- A. Pais, *Inward bound: of matter and forces in the physical world*, Oxford University Press (1986)
- P. D. B. Collins, A. D. Martin and E. J. Squires. *Particle physics and cosmology*, Wiley (1989).
- P. W. Atkins, *The second law*, Scientific American Library (1984)
- F. J. Dyson, 'Energy in the universe', *Scientific American* 225, No. 3, 50-59 (1971)
- B. B. Mandelbrot, *The fractal geometry of nature*, W. H. Freeman (1982)
- G. Nicolis and J. Prigogine, *Exploring complexity: an introduction*, W. H. Freeman (1989)
- P. C. W. Davies, *The physics of time asymmetry*, Surrey University Press (1974)

- J. D. Watson, The double helix: a personal account of the discovery of the structure of DNA; critical annotated version, G. Stent. Weidenfeld and Nicolson (1981)
- J. E. Darnell, D. Baltimore and H. Lodish, The molecular biology of the cell, Scientific American Books (1990)
- J. P. Changeux, Neuronal man: the biology of mind, Oxford University Press (1985)
- . J. Z. Young, Programs of the brain, Oxford University Press (1978)
- S. Rose, The conscious brain, Penguin books (1976); Vintage books (1976)
- S. Snyder, Drugs and the brain, Scientific American Library (1986)
- E. R. Kandel, 'Small systems of neurons', Scientific American 241, No. 3, 60-70 (1979).
- W. Yourgrau and S. Mandelstam, Variation principles in dynamics and quantum theory, Pitman (1968) 'Light', Scientific American 219, No. 3 (September 1968).
- K. Naussau, The physics and chemistry of color, Wiley (1983)
- R. P. Feynman and A. R. Hibbs, Quantum mechanics and phase integrals, McGraw-Hill (1965).
- R. P. Feynman, R. B. Leighton and M. Sands, The Feynman lectures in physics, Vol. 3, Addison-Wesley (1963)
- W. J. Kaufmann III, Black holes and warped spacetime, W. H. Freeman (1979)
- J. C. Graves, The conceptual foundations of contemporary relativity theory, MIT Press (1971)
- J. Schwinger, Einstein's legacy, Scientific American Library (1986)

- J. A. Wheeler, *Gravity and spacetime*, Scientific American Library (1990)
- L. P. Hughston and K. P. Tod, *An introduction to general relativity*, Cambridge University Press (1990)
- G. J. Whitrow, *The natural philosophy of time*, 2nd edn, Clarendon Press (1980)
- K. G. Denbigh, *Three concepts of time*, Springer-Verlag (1981)
- P. V. Coveney and R. Highfield, *The arrow of time*, W. H. Allen (1990)
- R. Flood and M. Lockwood, *The nature of time*, Basil Blackwell (1986)
- E. F. Taylor and J. A. Wheeler, *Spacetime physics*, 2nd edn, W. H. Freeman (1992)
- H. P. Robertson, 'Postulate versus observation in the special theory of relativity', *Reviews of Modern Physics* 21, 378-382 (1949)
- W. L. Burke, *Spacetime, geometry, cosmology*, University Science Books (1980)
- I. Prigogine, *From being to becoming*, W. H. Freeman (1980)
- P. C. W. Davies, *The forces of nature*, Cambridge University Press (1979)
- P. C. W. Davies, *The new physics*, Cambridge University Press (1989)
- D. Z. Freedman and P. Van Nieuwenhuizen, 'Supergravity and the unification of the laws of physics', *Scientific American* 238, No. 2, 126-143 (1978)
- D. R. Hofstadter, *Godel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid*, Basic (1979); Penguin (1980)
- S. E. Kim, 'The impossible skew quadrilateral: a four dimensional optical illusion' in *Proceedings of the American Association for the Advancement of Science Symposium on Hypergraphics: Visualizing complex relationships in art and science* (ed. D. Brisson), Westview Press (1978)

- M. Gardner, 'Mathematical games', *Scientific American* 243, No. 1, 14-20 (1980), and references therein.
- A. K. Dewdney, Two-dimensional science and technology, Pre-print; Dept. of Computer Science, University of Western Ontario (1980)
- A. K. Dewdney, *The planiverse*, Pan Books (1984).
- G. J. Whitrow, 'Why physical space has three dimensions', *British Journal of the Philosophy of Science* 6, 13-31 (1955)
- G. L. Whitrow, *The structure and evolution of the universe*, Harper (1959) T. L. Saty, 'Operations analysis' in *The mathematics of physics and chemistry* (eds H. Margenau and G. M. Murphy), 2, 249-320, Van Nostrand (1964)
- P. M. Morse and H. Feshbach, *Methods of theoretical physics*, Vo. 1, McGraw-Hill (1953)
- P. Ehrenfest, 'In what way does it become manifest in the fundamental laws of physics that space has three dimensions?', *Proceedings of the Amsterdam Academy* 20, 200-209 (1917)
- P. C. W. Davies, *Other worlds*, Dent (1980)
- L. Neuwith, 'The theory of knots', *Scientific American* 240, No. 6, 84—96 (1979)
- R. Courant and H. Robbins, *What is mathematics?*, Oxford University Press (1941)
- C. Rebbi, 'Solitons', *Scientific American* 240, No. 2, 76-91 (1979)
- Z. Parsa, 'Topological solitons in physics', *American Journal of Physics* 47, 56—62 (1979)
- P. Collas, 'General relativity in two-and three-dimensional space-times', *American Journal of Physics* 45, 833-837 (1977)

- R. Penney, 'On the dimensionality of the real world', *Journal of Mathematical Physics* 6, 1607-1611 (1965)
- J. Dorling, 'The dimensionality of time', *American Journal of Physics* 38, 539-540 (1970)
- C. M. Patton and J. A. Wheeler, 'Is physics legislated by cosmogony?' in *Quantum gravity* (eds C. J. Isham, R. Penrose and D. W. Sciama), 538-605, Clarendon Press, 1975; and also in *The encyclopaedia of ignorance* eds R. Duncan and M. Weston Smith), 19-35, Pergamon (1977).
- R. W. Livingstone, ed., *The legacy of Greece*, Oxford University Press (1921) A. Pais, *Subtle is the Lord*, Oxford University Press (1982)
- J. A. Wheeler and W. H. Zurek, eds., *Quantum theory and measurement*, Princeton University Press (1983)
- J. D. Barrow, *Theories of everything*, Oxford University Press (1990); Vintage (1992)
- J. Lyons, *Chomsky*, Fontana Modern Masters (1970)
- J. H. Conway, *On numbers and games*, Academic Press (1976)
- H. O. Peitgen and D. Saupe, eds., *The science of fractal images*, Springer-Verlag (1988)
- H. O. Peitgen and P. H. Richter, *The beauty of fractals*, Springer-Verlag (1986)
- M. Schroeder, *Fractals, chaos, and power laws*. W. H. Freeman (1991)
- P. J. E. Peebles, D. N. Schramm, E. L. Turner and R. G. Kron, 'The case for the relativistic hot Big Bang cosmology', *Nature* 352, 769 (1991)
- L. M. Lederman and D. R. Schramm, *From quarks to the cosmos*, Scientific American Library (1989)

- K. G. Wilson, 'Problems in physics with many scales of length', *Scientific American* 241, No. 2, 140-157 (1979)
- H. Weyl, *Symmetry*, Princeton University Press (1952)
- J. Rosen, *Symmetry discovered*, Cambridge University Press (1975)
- E. H. Lockwood and R. H. Macmillan, *Geometric symmetry*, (1978)
- R. L. E. Schwarzenberger, *N-dimensional crystallography*, Pitman (1980)
- F. Wilczek, 'The cosmic asymmetry between matter and antimatter', *Scientific American* 243, No. 6, 60-68 (1980)
- A. H. Guth and P. J. Steinhardt, 'The inflationary universe', *Scientific American* 90-102 (May 1984)
- E. P. Tryon, 'Cosmic inflation', in *The encyclopedia of physical science and technology*, Vol. 3 709. Academic Press (1987)
- J. Updike, Roger's version, *Deutsch* (1986)
- M. Gardner, 'Can time go backward?', *Scientific American* 216, No. 1, 98-108 (1967)
- J. R. Lucas, *A treatise on time and space*, Methuen, p. 44 (1973)
- R. Penrose, 'Angular momentum: an approach to combinatorial spacetime' in *Quantum theory and beyond* (ed. T. Bastin), 151-180, Cambridge University Press (1971)
- R. Penrose, *The emperor's new mind*, Oxford University Press (1990)
- See *Scientific American* 244, No. 2, 64-68 (1981)
- H. E. Huntley, *The divine proportion*, Dover (1970)

- S. W. Hawking, *A brief history of time: from the Big Bang to black holes*, Bantam (1988)
- B. Carter, *Confrontation of cosmological theories with observational data* (ed. M. S. Longair), Reidel (1974)
- F. J. Dyson, 'The fundamental constants and their times variation' in *Aspects of quantum theory* (eds A. Salam and E. P. Wigner), 213-236, Cambridge University Press (1972)
- P. S. Wesson, *Cosmology and geophysics*, Hilger (1978)

CAPÍTULO 1

¹ Voltarei a falar muito mais sobre reações químicas, a seu tempo. A reação em solução é muito mais subtil do que no estado gasoso, tal como a jardinagem produz resultados mais subtils do que os acidentes de viação. Em solução, existe a possibilidade de complexidade devido à subtileza que uma reação pode comportar — como, por exemplo, a modificação de uma ou duas ligações numa molécula composta por milhares. Para uma introdução aos conceitos envolvidos na discussão das reações químicas, ver o meu *Átomos, Elétrões e Mudança*.

² Uma introdução à composição do universo, e à forma como esta é determinada, é apresentada por Kaufmann. Uma visão geral, acessível ao grande público e bastante envolvente sobre a composição do universo — incluindo uma explicação simples da origem dos elementos — é oferecida por Nigel Calder. A minha alusão ao pó galático é, provavelmente, uma recordação da sua expressão mais evocativa: “Em certo sentido, a carne humana é feita de pó de estrelas” (p. 32).

³ Para uma avaliação da dimensão do universo, da forma como é medida e de um catálogo dos seus conteúdos, a Cambridge Encyclopaedia é tão boa fonte quanto qualquer outra. Existe uma receita para um modelo de universo, numa escala que nem Mrs Beeton alguma vez sonhou. Partindo do princípio de que a idade atual é de 10^{10} anos, o raio atual é de $1,3 \times 10^{10}$ anos-luz ($1,2 \times 10^{26}$ metros). A densidade média atual é de cerca de $1,4 \times 10^{-29}$ gcm⁻³ (correspondendo, em média, a cerca de um átomo por metro cúbico), e a sua massa total ronda os $5,7 \times 10^{56}$ gramas. Existem aproximadamente 29×10^{23} estrelas, distribuídas por cerca de 10^{11} galáxias. A cada 5 segundos, o universo expande-se numa quantidade aproximadamente igual ao volume da nossa galáxia. Tudo terminará dentro de cerca de 5×10^{10} anos, ou por aí. Análises críticas destes valores também estão disponíveis.

⁴ Este é o Paradoxo de Olbers. O paradoxo surge com base na ideia de que as estrelas têm dimensões finitas, e que qualquer linha reta traçada a partir de um observador e projetada no espaço infinito acabará, mais cedo ou mais tarde, por interseção a superfície de uma estrela. Isto presume que o universo é infinito na sua extensão, infinitamente antigo, uniforme no espaço e estático. O paradoxo poderia ser resolvido de várias formas. Por exemplo, se o universo for finito, então não haverá estrelas para além de um determinado raio, e assim algumas linhas de visão a partir do olho do observador não tocarão nenhuma estrela. Do mesmo modo, se o universo for infinito, mas de idade finita, a luz de estrelas distantes ainda não terá tido tempo de nos alcançar. A resolução moderna do paradoxo é mais subtil, como tantas coisas na relatividade geral e na cosmologia, onde conceitos familiares como idade e distância perdem a sua simplicidade. A resolução moderna baseia-se na rejeição da suposição de que o universo é estático.

⁵ Ninguém está ainda em posição de afirmar com certeza qual será a solução final para o problema da cosmogonia (a geração do universo), e por isso devo advertir o leitor de que o argumento recorrerá cada vez mais à especulação. Embora seja relativamente fácil usar uma linguagem direta para exprimir ideias que já estão, de algum modo, estabelecidas, é difícil simplificar a exposição de ideias que ainda não foram formuladas de forma precisa.

Duas consequências derivam disto para o presente livro. A primeira é que especulação e facto estarão entrelaçados. Procurarei indicar qual é qual. A segunda é que, quase certamente, haverá uma sensação de desilusão no final (pelo menos). Isto porque ainda não conhecemos toda a verdade sobre a cosmogonia e, por conseguinte, dificilmente se pode esperar que o relato seja outra coisa que não carente de detalhe. O que procuro fazer — e isso deve ser sempre lembrado — é mostrar que se podem colocar questões profundas sobre a cosmogonia que, em alguns casos, já foram respondidas, e que, noutros, a ciência está a apontar para o tipo de resposta que poderá surgir num futuro relativamente próximo.

⁶ Uma exposição introdutória sobre a formação dos elementos — nucleossíntese — pode ser encontrada na Cambridge Encyclopaedia of Astronomy. Em resumo, o hidrogénio e o hélio do universo foram sintetizados na explosão inicial, o chamado “big bang”. Espécies mais pesadas foram (e continuam a ser) formadas pelo “assado” nos interiores das estrelas e depois distribuídas pelo restante universo através das explosões que ocorrem em várias fases do ciclo de vida de uma estrela. Outra obra muito acessível sobre o assunto é o livro de Cox.

⁷ O diâmetro de um átomo é da ordem de 2×10^{-10} metros. Esta dimensão é determinada pela intensidade da interação eletrostática entre o núcleo e os eletrões circundantes. A intensidade dessa interação é regida por uma constante fundamental, α . O seu valor é aproximadamente $1/137$. O diâmetro de um átomo é inversamente proporcional a α e, por isso, se α tivesse o dobro do seu valor atual, seríamos apenas metade do nosso tamanho atual, oito vezes mais densos e mais vívidos.

⁸ O microscópio eletrónico, quando utilizado numa forma adaptada, é hoje suficientemente sensível para fornecer imagens de átomos. A difração de raios X é a base da técnica moderna de determinação da estrutura das moléculas, especialmente das

enormes moléculas de importância biológica, como as proteínas e o ADN. Esta técnica mostra os eletrões agrupados em massas claramente identificáveis como átomos. A microscopia de ionização de campo oferece representações de átomos individuais e, numa adaptação, pode ser utilizada com tal precisão que o experimentador consegue localizar um único átomo, arrancá-lo da superfície da amostra, e identificá-lo ou utilizá-lo de algum modo. Algumas das imagens mais impressionantes de átomos e moléculas surgiram do recente desenvolvimento da microscopia de varrimento por tunelamento, na qual uma ponta finíssima — tão fina, de facto, que termina num único átomo — é movida em linhas paralelas sobre a superfície de uma amostra, revelando os átomos pelo fluxo de corrente que passa pela ponta. Uma adaptação desta técnica pode ser utilizada para mover átomos isolados para locais arbitrários, mas intencionalmente escolhidos, na superfície.

⁹ Mantendo-se as outras condições constantes (e, em particular, assumindo que a temperatura do ambiente é independente de α), se α tivesse sido 1% maior do que é, então o Homem teria levado o dobro do tempo para evoluir. Se α tivesse sido o dobro do seu valor atual, em vez de evoluir em 10^{10} anos, o Homem teria precisado de 10^{62} anos, o que é muito mais tempo do que a idade atual do universo (10^{10} anos). As forças que atuam no interior dos núcleos são cerca de 100 vezes mais fortes do que a força eletrostática, e alterações negligenciáveis teriam ocorrido, exceto em regiões onde a temperatura é extremamente alta, como no centro das explosões nucleares e no interior das estrelas. Existem inúmeras consequências da variação do valor de α , e encontraremos mais à medida que avançarmos.

¹⁰ A taxa de evolução foi resumida por Freeman Dyson da seguinte forma: Observando a história passada da vida, vemos que são necessários cerca de 10^6 anos para evoluir uma nova espécie, 10^7 anos para evoluir um género, 10^8 anos para evoluir uma classe, 10^9 anos para evoluir um filo, e menos de 10^{10} anos para evoluir desde a lama primordial até ao Homo sapiens.

¹¹ A quantidade de átomos necessária para dar origem a uma criatura complexa é discutida, em termos gerais e de forma algo simplista, num pequeno livro clássico de Schrödinger.

¹² Tem de haver algum tipo de estrutura interna para se poder diferenciar entre os muitos tipos de quarks que foram identificados. Uma das tarefas que nos cabe aqui em diante é identificar algum tipo de componente primitivo. Uma perspetiva sobre isso surgirá nas páginas seguintes. Estas observações não excluem a possibilidade de que as entidades verdadeiramente últimas estejam organizadas em agrupamentos de um tipo mais primitivo do que o agrupamento em quarks e, por conseguinte, que os próprios quarks possam possuir algum tipo de estrutura interna, mesmo que careçam de extensão espacial. A tais entidades internas deu-se o nome de “preões”

¹³ Consulte o livro de J. C. Polkinghorne para uma abordagem prática da física de partículas moderna. O autor escreveu-o durante a sua transição de uma cátedra de física matemática para o sacerdócio anglicano. Uma introdução mais acessível, escrita com grande estilo e imaginação, é o livro de Nigel Calder, que mencionámos acima. Este é particularmente bom na explicação da natureza das forças e no papel das partículas cada vez mais elementares. Para uma história das forças, veja o fascinante volume de Pais.

¹⁴ Há duas categorias de nomes. Uma inclui termos que nos dão a impressão de sabermos o que significam: refiro-me a conceitos “familiares” como carga elétrica. Toda a gente sabe o que é carga elétrica (até ser convidada a explicá-lo). A outra categoria inclui termos que imediatamente reconhecemos como não familiares: por uma reviravolta irónica, são-lhes atribuídos nomes caseiros e familiares como “cor”, “sabor”, “estranheza” e “charme”. Algumas pessoas contestam a jovialidade desta nomenclatura, mas ela é válida em dois sentidos. O primeiro é que é divertida, o que não está fora de lugar na ciência. O segundo é que tais nomes assinalam, de forma inequívoca, o facto de serem palavras-código que requerem um esclarecimento mais aprofundado.

CAPÍTULO 2

¹ Qualidade? O que é qualidade? Este é um termo introduzido por Freeman Dyson. Por agora, considere energia localizada como energia com potencial para ser aproveitada para realizar trabalho, e, portanto, de algum modo, com “alta qualidade”. Trabalho envolve movimento ordenado; calor envolve movimento aleatório. No processo de qualquer mudança, a energia altamente localizada torna-se mais dispersa, e deixamos de poder apontar para uma localização bem definida. Dyson (na sua página 52 do seu livro *Disturbing the Universe*, publicado em 1979) estabelece uma “ordem de mérito” para várias formas de energia. A energia gravitacional encabeça a lista e tem a mais alta qualidade. No fundo da lista está a radiação cósmica de fundo em micro-ondas. Esta corresponde ao sumidouro térmico último, e parece não haver maneira de esta energia ser degradada ainda mais.

² A ideia que permeia este capítulo é a entropia. Este é o mundo da Segunda Lei da termodinâmica, e é interpretada em qualquer análise da base molecular da termodinâmica. A Segunda Lei da termodinâmica, um resumo da experiência acerca da direção da mudança, é consistente com a observação de que a entropia do mundo aumenta sempre que ocorre uma mudança. Esta lei, por sua vez, é consistente com a observação de que o número de formas de distribuir a energia disponível aumenta.

³ Essa agitação aleatória que leva à mudança irreversível pode ser compreendida com base numa caminhada aleatória. Uma versão simples é a seguinte. Considere um objeto que pode dar um passo com igual probabilidade para a esquerda ou para a direita. Embora não possamos observar a direção tomada por cada partícula em cada passo, podemos pelo menos prever a probabilidade

de que alguma partícula seja encontrada a certa distância da origem após um número especificado de passos. Se considerarmos um grupo de objetos inicialmente juntos num local, então, como todos saltam aleatoriamente para a esquerda ou direita, alguns serão encontrados a grande distância num momento posterior (por exemplo, é possível, mas improvável, que um objeto tenha dado todos os passos para a direita), enquanto a maioria estará perto da origem. O pico da população na origem continua a espalhar-se com o tempo, e a probabilidade de que todos os membros do grupo original estejam simultaneamente reunidos na pilha original é negligível (mas possível). Daí resulta uma mudança irreversível por efeito do salto aleatório (Toda a mudança natural corresponde ao aumento da entropia, e a base subjacente à aparente irreversibilidade da história do universo é a extrema improbabilidade de que a energia, os átomos e as moléculas voltem a alcançar localizações e configurações anteriores.). Explorações mais elaboradas desta ideia simples podem ser aprofundadas em várias complexidades.

⁴ Como exemplo de uma reação química simples, tome-se a combustão de um pedaço de carvão. Na sua forma mais simples, a reação consiste na combinação dos átomos de carbono do carvão com as moléculas de oxigénio do ar para formar dióxido de carbono (CO_2). A reação liberta uma quantidade considerável de energia. Quando um par de átomos de oxigénio e um átomo de carbono se organizam numa disposição que corresponde aproximadamente a uma molécula de CO_2 , a energia libertada manifesta-se sob a forma de vibração intensa. Essa energia vibracional dissipa-se muito rapidamente, já que os átomos no pedaço de carvão são também impulsionados a vibrar, e a energia espalha-se pelo carvão e afasta-se do local da reação. Os átomos de carbono e oxigénio ficam agora “aprisionados” como molécula de CO_2 . A razão pela qual o dióxido de carbono não se separa espontaneamente numa camada de fuligem e numa nuvem de oxigénio é que, embora o processo inverso possa ocorrer, terá uma probabilidade praticamente nula. Isto acontece porque, para formar fuligem a partir do dióxido de carbono, a energia tem de se localizar na molécula a partir do seu ambiente; mas é muito improvável que energia suficiente se acumule espontaneamente e simultaneamente na pequena molécula de CO_2 .

⁵ Outra forma de obstáculo à degradação da energia é descrita por Dyson no artigo *Energy, Order, and Disorder*, e incorporado no livro *Origins of Life*, publicado em 1979. Ele descreve uma variedade de “bloqueios” que atrasam o colapso precipitado da energia. Um desses é o “bloqueio do tamanho”, que corresponde à lentidão intrínseca do colapso de um objeto difuso a ser puxado gravitacionalmente. Como o universo é muito difuso (cerca de um átomo por metro cúbico em média), o colapso demora muito tempo (cerca de 10^{11} anos). Outro obstáculo é o “bloqueio do spin”, que resulta da lentidão com que o movimento rotacional pode ser dissipado: entre outras coisas, é responsável pela existência dos planetas nas suas órbitas. O terceiro obstáculo é o “bloqueio termonuclear”, que impede as estrelas de colapsarem além de certo ponto até que todo o hidrogénio tenha sido consumido. Este bloqueio deu ao Sol uma vida de $4,5 \times 10^9$ anos até agora, com uma expectativa de mais 5×10^9 . Em quarto lugar, há o “bloqueio da interação fraca”, que impede o Sol (e qualquer estrela) de simplesmente explodir como uma bomba. Dyson continua a lista de bloqueios: o artigo é muito interessante (e ainda há tempo para o ler).

⁶ Ao afirmar que a energia detém a chave para a sua própria degradação, refiro-me à energia de ativação das reações. Uma reação química pode ocorrer se forem cumpridas duas condições. A primeira é que as espécies reagentes se encontrem; a segunda é que, ao fazerem-no, possuam energia suficiente, a chamada “energia de ativação”, para ocorrer a reação. A probabilidade de possuírem pelo menos essa quantidade de energia é expressa por uma fórmula conhecida como distribuição de Boltzmann. Esta fórmula é um resultado probabilístico derivado da suposição de que a energia é distribuída aleatoriamente entre todos os modos disponíveis de movimento. A razão pela qual a energia de ativação estabiliza a forma é que a expressão de Boltzmann dá um valor muito pequeno para a probabilidade de as moléculas possuírem energia suficiente para reagir à temperatura normal.

⁷ A energia pode ser considerada como vinda em pacotes, “quanta”, e é armazenada nos vários tipos de movimento das moléculas e na forma como os seus átomos estão organizados. Quer uma molécula, ou um conjunto delas, consiga armazenar muita energia depende da sua constituição. Uma molécula complexa pode ser vista como um labirinto para a energia: há tantas formas em que a energia pode estar localizada que se pode pensar que ela está a “agitar-se” dentro da molécula durante muito tempo antes de escapar para o meio envolvente. Portanto, se a energia se agita aleatoriamente a partir do meio envolvente, parecerá estar presa dentro da molécula. A energia é, no entanto, dispersa, e o número de locais onde pode estar dentro da molécula é tão grande que dá a impressão de preferir estar aí em detrimento de outros locais.

⁸ A base molecular da replicação (essencialmente a química do ADN) é descrita numa vasta variedade de fontes, dada a notável influência que a descoberta da base molecular da vida teve na ciência e no público em geral.

⁹ Um ponto a ter em conta sobre a complexidade da construção do cérebro é que se pensa que o cérebro humano consiste em cerca de 10^{11} neurónios. Um neurónio típico tem entre 1000 a 10 000 sinapses (pontos de contato) com outros neurónios. O processo de aprendizagem pode ser investigado a nível microscópico em termos da forma como as sinapses do cérebro são modificadas pela própria atividade cerebral. A emergência destes processos subjacentes, manifestando-se em ações e emoções, é descrita em diversos locais. Estão disponíveis análises detalhadas e experiências sobre pequenos grupos de neurónios responsáveis pela atividade de retração das brânquias (uma ação que menciono simplesmente porque foi estudada). A característica extraordinária deste tipo de trabalho (feito num caracol) é que o sistema neuronal estudado é tão simples que pode ser

desmontado como os componentes de um computador, e o papel dos componentes individuais e o seu diagrama de ligações analisados tal como qualquer rede de interruptores e fios. Iniciamos (após cerca dos 10 anos de idade) com aproximadamente 10^{11} neurónios. Não os renovamos à medida que morrem (o que acontece quando, por alguma razão, as suas reacções cessam). Diz-se que cada dose de whisky elimina 5000 neurónios, além dos 50 000 que deveriam morrer nesse dia.

¹⁰ A retina consiste em cerca de 3×10^6 cones (responsáveis pela visão a cores) e 10^9 bastonetes (que não distinguem cores). O notável aperfeiçoamento do olho (que evoluiu independentemente cerca de meia dúzia de vezes — só neste planeta) reflete-se no facto de os bastonetes poderem responder a um único fotão de luz. As duas características importantes da molécula antena nos bastonetes são que ela é dobrada no meio e que absorve luz de comprimentos de onda semelhantes aos do sol (por isso conseguimos ver à luz do dia). O evento principal na visão é que esta molécula absorve um fotão (se este lhe incidir diretamente), o que faz com que ela se endireite e desenrole, tornando-se numa espécie de bastão mais ou menos reto. Este bastão já não encaixa no espaço disponível. A mudança de forma afeta a capacidade dos iões de sódio e potássio de atravessarem a membrana nervosa ligada a uma das extremidades do bastonete. Veremos em breve que o equilíbrio das concentrações destes iões é central para a propagação dos impulsos nervosos.

¹¹ Os axónios das células nervosas (ao longo dos quais o impulso percorre) estão banhados num fluido rico em iões de sódio; o fluido interior é rico em iões de potássio. Devido a este desequilíbrio de concentrações, existe uma diferença de potencial entre o interior e o exterior da célula nervosa. O impulso nervoso surge quando canais na membrana se abrem como comportas, permitindo que os iões de sódio entrem em massa. Depois os canais fecham-se, e outro conjunto abre-se. Estes permitem que os iões de potássio saiam, com o resultado de restabelecer a voltagem original, mas à custa da perda das diferenças originais de concentração de sódio e potássio. O pico da voltagem em mudança propaga-se ao longo do nervo e chega à sinapse. Ali, moléculas de um transmissor químico, armazenadas em vesículas, são libertadas para o neurónio seguinte. Estes químicos podem tanto aumentar a probabilidade de o neurónio disparar um impulso através das suas ligações a outras células, como inibi-lo. Esta é a complexa interação das funções de comutação no cérebro; tudo é químico, e tudo se move na direção do aumento da entropia. Temos de importar material que sofre reacções que libertam tanta entropia que podem impulsionar as reacções nas células do corpo de volta à sua condição inicial, prontas para reagir de novo quando permitido. No que diz respeito ao sistema nervoso, o agente principal é a *bomba de sódio*. Vimos que a passagem de um impulso nervoso deixa o nervo com uma distribuição exausta das concentrações de iões de sódio e potássio. A recuperação é conseguida pela bomba de sódio, que é uma molécula proteica embutida na parede do nervo. Cada bomba usa a energia disponível de uma molécula de ATP, uma molécula de extrema importância nas reacções relacionadas com o fornecimento de energia biológica. Quando em funcionamento máximo, cada bomba pode efetuar a troca de cerca de 200 iões de sódio e 130 iões de potássio por segundo. O conjunto de bombas ao longo do nervo restaura a diferença inicial de concentração, preparando-a para transmitir o próximo impulso assim que o corpo celular na sua cabeça acumular mudança suficiente na composição para o disparar novamente.

¹² Embora uma reacção química (ou um processo físico mais simples) possa resultar numa diminuição da entropia do universo, correspondendo, portanto, a uma retração da dispersão da energia, ela pode ainda assim ser impulsionada se estiver ligada, de algum modo, a outra reacção que tende a ocorrer naturalmente e que, no conjunto, conduza a uma dispersão líquida de energia. A construção e manutenção de organismos complexos deve-se às reacções construtivas serem impulsionadas pelas reacções ativadas pela ingestão de alimentos.

CAPÍTULO 3

¹ Para compreender os termos de “empurrar, agitar” e “pacote de energia”, precisamos de examinar o comportamento de entidades individuais, como átomos e moléculas. Temos de ver o que determina a direção do movimento de uma molécula num gás e o que determina como essa direção muda quando ocorre uma colisão. Estes são problemas de mecânica. Existem dois grandes sistemas de mecânica: a mecânica clássica e a mecânica quântica. A primeira foi uma grande conquista do intelecto (principalmente de Newton) e, essencialmente, deu início à física teórica. Contudo, é apenas uma aproximação, e a mecânica quântica substituiu-a como a descrição mais fundamental atualmente disponível das propriedades da matéria. Veremos a interação entre ambas.

² A propagação em linha reta da luz é um aspeto do princípio de Fermat do menor tempo. Mais adiante encontraremos outros exemplos de princípios de extremo, e veremos que este é um caso especial.

O princípio do menor tempo é um exemplo de um “princípio de extremo”. A mecânica clássica das partículas também pode ser expressa em termos de um princípio de extremo, o *princípio da menor ação*. Maupertuis, o originador do princípio (embora numa forma algo confusa e em 1744), propô-lo numa tentativa de fornecer uma fundamentação teológica para a mecânica, sendo o argumento (como tantos outros que nasceram de princípios de mínimo) que a perfeição do Ser Supremo seria incompatível com qualquer coisa que não fosse o mínimo dispêndio de ação. Acho curioso ver como a cauda deste argumento acabou por abanar o cão até ele deixar de existir.

A passagem para a mecânica quântica a partir das analogias entre o princípio do menor tempo na óptica e o princípio da menor ação na mecânica é estabelecida em detalhe por R. P. Feynman.

³ Esta discussão é, essencialmente, a construção de Fermat da lei de Snell da refração, segundo a qual a razão entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refração é igual à razão das velocidades nos dois meios (e inversamente proporcional à razão dos índices de refração). Um exercício interessante consiste em calcular a sua trajetória real desde uma posição especificada da sua espreguiçadeira na praia até uma posição especificada da vítima. A complexidade deste cálculo (ou pelo menos, o tempo que demora a chegar a uma conclusão numérica) sublinha o facto de que a luz deve ter, se não um instinto natural, pelo menos uma característica intrínseca que guia a sua propagação.

⁴ Aqui, como tantas vezes na ciência, diferenças de tipo dão lugar à interpretação em termos de diferenças de grau. Embora a luz pareça propagar-se de forma bastante diferente do som, elas são intrinsecamente iguais, mostrando as suas semelhanças de uma forma mais profunda do que se poderia suspeitar. Este é um ponto que será desenvolvido no que se segue.

⁵ Uma onda de luz é uma onda eletromagnética, uma sucessão de picos e vales do campo elétrico e magnético. O comprimento de onda da onda determina a cor percebida. A luz visível situa-se na faixa de comprimentos de onda entre 4×10^{-7} m (violeta) e 7×10^{-7} m (vermelho). Estes comprimentos de onda podem quase ser imaginados: 10×10^{-7} m é um milésimo de milímetro, quase ao alcance da imaginação.

Por detrás destes parágrafos está o conceito de interferência. A interferência entre ondas pode ser construtiva ou destrutiva. Na interferência construtiva, os deslocamentos de várias ondas sobrepõem-se de tal forma que conduzem a uma ampliação do deslocamento total: a sobreposição tem grande amplitude. Em contraste, na interferência destrutiva, os deslocamentos interferem de modo a anularem-se, levando a uma amplitude total pequena. Este efeito pode ser observado na superfície de um lago após duas pedras serem lançadas perto uma da outra: os círculos concêntricos de deslocamento da água aumentam-se ou anulam-se mutuamente onde se espalham numa região comum.

⁶ A desaceleração da luz ao passar para um meio mais denso é o resultado da interação entre o campo eletromagnético do raio de luz e os eletrões das moléculas que formam o meio. Num certo sentido, precisamos de incorporar isto no argumento, bem como a natureza ondulatória da luz; mas resolve-se por si quando o universo é visto como um todo. Uma lente pode ser considerada uma região de um meio denso especialmente moldada para induzir a interferência correta entre os raios de luz que a atravessam e, assim, desviar os raios para um foco apropriado.

⁷ O campo gravitacional do Sol leva exatamente um ano para fazer com que uma linha reta pareça um círculo com o diâmetro da órbita da Terra.

⁸ A natureza do tempo tem, naturalmente, sido alvo de muita discussão, que tem sido ora teológica, ora filosófica, e frequentemente frutuosa. A explicação mais interessante e recente parece-me ser o livro de G. J. Whitrow, que aborda vários níveis e aspetos do tempo, entre eles o tempo humano, o tempo biológico, o tempo matemático e o tempo cósmico. Este fascinante livro vai desde o jet lag (perturbação dos seus ritmos circadianos, os ciclos naturais de sono e atividade, devido a mudanças no ambiente ou no ciclo luz-escuridade, afetando o seu comportamento e desempenho) nas abelhas até temas mais amplos. Outras compilações interessantes incluem os livros de Denbigh, Coveney e Highfield, bem como a coleção de conferências editada por Flood e Lockwood.

Vamos referir-nos aos sinais (+,+,+,-) em $(+)x^2 + y^2 + z^2 - (ct)^2$ como a *assinatura métrica* do espaço. A assinatura da geometria euclidiana em quatro dimensões espaciais seria (+,+,+,+). A restrição na direção dos sinais decorrente da assinatura métrica (+,+,+,-) é discutida em livros sobre relatividade. Ver também as reflexões sobre o tempo de Prigogine.

⁹ A ideia de medir distâncias N-S e E-O em unidades diferentes, como analogia para a incorporação do tempo, é um desenvolvimento de uma ideia que foi levada mais longe. A vantagem mais profunda dessa conversão é que ela conduz ao conceito e à definição de “distância”.

¹⁰ O valor preciso de c é $2,997\,925 \times 10^8$ m s⁻¹ (186 282,4 milhas s⁻¹). A razão pela qual afirmo ser enganador referir-se a este valor como a velocidade da luz é que ele é, na realidade, a velocidade limite para a propagação de qualquer tipo de sinal (ou objeto); apenas aconteceu ter entrado na física através da teoria eletromagnética. Assim, qualquer sinal transmitido por partículas sem massa (como os fótons, no caso do eletromagnetismo, os gravitões, no caso da gravitação, e os neutrinos) propaga-se à mesma velocidade c .

¹¹ Uma medida comum de distância é o ano-luz. Uma interpretação do seu significado é que corresponde à distância que a luz percorre em um ano (e equivale a $9,45 \times 10^{15}$ m, ou $5,87 \times 10^{12}$ milhas, 5,87 milhões de milhões de milhas). O Sol está a 8,3 minutos-luz de distância, a estrela mais próxima, Próxima Centauri, cerca de 4,27 anos-luz, e a galáxia mais próxima, a Nebulosa de Andrômeda, aproximadamente 2,25 milhões de anos-luz. Outra forma de ver o ano-luz é entendê-lo como o resultado de expressar distâncias em unidades comuns às do tempo (isto é, fazendo o oposto do que temos vindo a mencionar até agora: é tão legítimo e tão sensato ajustar unidades criadas pelo homem numa direção como noutra)

¹² A observação de que a velocidade da luz é independente do estado de movimento do observador é o célebre experimento de Michelson—Morley, que constituiu um dos grandes resultados negativos da ciência. O outro grande “não-evento” foi a ausência de observação de diferenças entre massa inercial e massa gravitacional, como nos experimentos de Eötvös e Roll, Krotkov e Dicke. Esta ausência pode ser considerada a mola propulsora da teoria da relatividade geral.

¹³ A distância, o d em $d^2 = x^2 + y^2$, entre dois pontos foi introduzida como uma grandeza que caracteriza o espaço. O intervalo entre eventos é a grandeza que caracteriza o espaço-tempo. Verifica-se que a forma $x^2 + y^2 + z^2 - (ct)^2$ não depende da velocidade a que o observador se desloca.

¹⁴ Como ilustração do que é e do que não é uma linha reta no espaço-tempo, considere a sua própria trajetória enquanto está sentado a ler este livro. A influência gravitacional da Terra distorce o espaço-tempo na sua vizinhança de tal forma que a sua direção natural de movimento é em direção ao centro da Terra. Enquanto tender a seguir essa direção, encontra uma obstrução, a própria Terra (que não pode penetrar por razões da mecânica quântica, a não ser que a afaste com uma pá). Essa obstrução exerce uma força, que pode sentir através do assento da cadeira. Essa força está a desviá-lo da sua geodésica.

¹⁵ Provavelmente, o relato introdutório mais acessível da interpretação das forças em termos da troca de partículas encontra-se no livro de Nigel Calder. O comentário sobre os bumerangues foi retirado de uma palestra em 1980 no Wolfson College, proferida por Sir Denys Wilkinson. A analogia é profunda e também gráfica, pois o facto de as forças agirem de forma atrativa ou repulsiva depende do spin das partículas trocadas: partículas com spin inteiro são atrativas, partículas com spin ímpar são repulsivas entre partículas iguais. Para uma revisão da descrição moderna das forças, veja-se Davies. A unificação das forças e o conceito de supergravidade também foram descritos de forma bastante simples.

A força eletromagnética entre partículas eletricamente carregadas deve-se à troca de *fótons* (quanta de luz). A força forte é mediada por *glúons* que atuam entre quarks. A força fraca é mediada pelos infelizes, mas corretamente designados, *bósons vetoriais intermédios*. A força gravitacional surge da troca de *gravitões*.

¹⁶ As linhas retas do espaço-tempo encurvado são as suas geodésicas. Agora estamos a entrar no domínio da relatividade geral.

Partículas propagam-se ao longo de geodésicas no espaço-tempo pela mesma razão que se propagam ao longo de linhas retas no espaço euclidiano comum (mas inexistente!). Note que uma geodésica temporal no espaço-tempo é, localmente, a mais longa e não a mais curta distância; ainda assim, aplicam-se os mesmos argumentos.

CAPÍTULO 4

¹ Estes outros universos têm de ser distinguidos dos outros universos que são, por vezes, invocados para fornecer um quadro de explicação da mecânica quântica. Tais interpretações pouco elegantes (não me refiro ao livro de Davies) supõem que, a cada ato de observação, este universo se fragmenta em réplicas ligeiramente diferentes. É difícil aceitar que ideias tão cosmicamente dispendiosas possam ser defendidas a sério, mas, no entanto, são.

² Existem vários relatos sobre a vida em diferentes dimensões. A riqueza incomensuravelmente maior de um mundo bidimensional é bem exemplificada por um artigo de Martin Gardner baseado no que ele denomina “um tour de force de 97 páginas” de A. K. Dewdney sobre ciência e tecnologia bidimensionais. O artigo e o livrinho abordam a ciência, a tecnologia, a química, o clima e a arte, bem como a arte de viver, num universo planar. Uma revisão muito útil da física de um universo N-dimensional, e muitas outras referências, é fornecida por Barrow e Tipler.

³ O ponto sobre o intestino é um desenvolvimento de uma ideia descrita por Whitrow. O artigo de Dewdney sobre o Planiverso abordou pontos semelhantes de infelicidade biológica (ou felicidade em alguns casos; como a dificuldade de cair e a facilidade de cortar relva).

⁴ O ponto relativo ao sustento é uma alusão ao Capítulo 2, onde vimos que os mecanismos da vida dependem da força motriz de reações interligadas e da necessidade de importar alimento. Cada passo no funcionamento de um cérebro é uma reação química que pode ocorrer uma única vez quando é desencadeada. Mas, uma vez ocorrida, tem de ser revertida através do acoplamento a outra reação com tendência para se processar na direção correta. Esta, por sua vez, tem de ser restaurada quando tiver ocorrido, e assim regressamos à necessidade de comer e, em última análise, de nos expormos ao sol. Por outro lado, um cérebro eletrónico bidimensional, que penso só poder ser produzido como artefacto de uma civilização biológica anterior (pelo menos num prazo razoável), poderia ser alimentado por radiação. Uma vez conseguido isso, não parece haver qualquer razão particular (desde que os neurónios possam ser suficientemente compactados em duas dimensões) para que o ser humano bidimensional não pudesse reduzir o seu cérebro para cerca de 36 m² e o seu cão bidimensional eletrónico para cerca de 15 m².

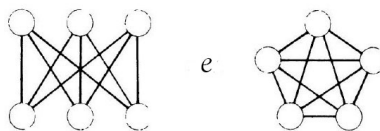
⁵ A complexidade de um cérebro bidimensional tem sido contestada com base no argumento de que os nervos poderiam desenvolver uma forma de disparar através de uma interseção; os cérebros apenas funcionariam mais lentamente. O argumento do proponente, Whitrow, tem mais força na prática, embora o oponente, Dewdney, esteja certo em princípio. Note-se que,

enquanto o cérebro humano tem cerca de 10^{11} neurónios, o número de sinapses é muito maior, talvez em torno de 10^{14} . Isso é uma medida da sua complexidade.

O tamanho mínimo de um cérebro humano planar pareceria ser cerca de 36 m^2 : este valor assume que existem 10^{11} neurónios numa esfera de raio de 5cm na cabeça humana, e que depois todos os neurónios são dispostos lado a lado numa superfície densamente preenchida. Isto, no entanto, é simplesmente um achatamento da cabeça, como poderia ser obtido com um martelo; a sua reconstrução, evitando cruzamentos em duas dimensões, resultaria numa estrutura enorme, e a cidade dos cães parece bastante razoável como indicação de tamanho.

Lembre-se de que um neurónio dispara quando acumulou um sinal líquido de disparo, composto por numerosos sinais inibitórios e estimulantes que chegam às sinapses. O cérebro é uma disposição tanto temporal como espacial.

Redes que não podem ser construídas sem interseções são aquelas que contêm as seguintes estruturas:



Estas redes são, evidentemente, viáveis se as ligações entre os neurónios forem feitas por radiação (mas veremos em breve que aí surgem problemas), pois a radiação pode seguir trajetórias que se cruzam.

Já se fez referência a uma análise detalhada das ligações nervosas envolvidas na retração de uma brânquia no caracol *Aplysia*. O circuito neuronal do reflexo de retração está desenhado na p. 67 da obra citada, numa forma ligeiramente simplificada. Se é necessária tal complexidade para retrainir uma brânquia, imagine a complexidade necessária para retrainir uma oferta.

Considero que vale a pena reiterar a visão de que, embora seja concebível o surgimento de cérebros inorgânicos (construídos como computadores) com as suas conexões feitas por condutores passivos (fios ou até canais, e não nervos) ou sob a forma de radiação, é improvável que evoluam naturalmente, ainda que a sua construção por um sistema biológico possa ser considerada uma forma generalizada de evolução. A complexidade tem de ser adquirida em etapas quando não é imposta de fora por um projetista, e os sistemas biológicos, quase por definição, constituem etapas na aquisição progressiva de complexidade. Numa fase avançada deste processo, como a que agora estamos a entrar, pode ser possível descartar o excesso desnecessário da estrutura biológica, construindo “artificialmente” algum componente desejado, como o cérebro, livre de pernas, dentes e intestinos, tal como a evolução convencional se livrou de grande parte do nosso cabelo.

⁶ As diferenças intrínsecas entre a propagação de ondas em espaços com dimensionalidades ímpares e pares podem resumir-se do seguinte modo: ondas de pulso único (explosões) em números ímpares de dimensões propagam-se radialmente como pulsos nítidos, diminuindo de amplitude, mas mantendo frentes de subida abrupta e caudas de descida acentuada, sem dar qualquer aviso da sua chegada e sem deixar rasto. Em números pares de dimensões, o pulso em expansão mantém a sua frente de subida abrupta — portanto, não há aviso da sua chegada — mas deixa atrás de si um rasto, já que a perturbação continua muito depois de a crista ter passado.

⁷ A idade da Terra é de cerca de $4,6 \times 10^9$ anos. A vida surgiu há aproximadamente $3,5 \times 10^9$ anos; portanto, foram necessários mais de mil milhões de anos para emergirem organismos mínimos. As primeiras criaturas multicelulares formaram-se há cerca de $0,6 \times 10^9$ anos (600 milhões de anos). Os mamíferos surgiram pouco mais de 200 milhões de anos atrás (note-se o ritmo acelerado). O primata semelhante ao homem transformou-se no homem semelhante ao primata há apenas alguns milhões de anos, e o *Homo sapiens* existe há pelo menos 100 000 anos. No total, necessitámos de quase 5000 milhões de anos de “cozedura” gradual para que tal acontecesse.

⁸ Recorde o conceito de qualidade da energia introduzido na p. 12 e a ordem de mérito de Dyson. A luz é uma forma de energia de alta qualidade (baixa entropia); o calor é corrupto (alta entropia).

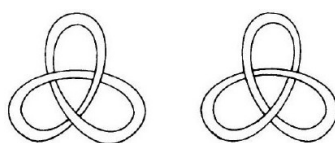
⁹ Em três dimensões, uma pequena perturbação permite que a trajetória circular sobreviva, desde que o impacto não seja demasiado grande. Em espaços de dimensões superiores, o planeta cai no centro de atração ou voa para o infinito. Além disso, nesses espaços de dimensões superiores não existem movimentos comparáveis ao movimento elíptico em três dimensões, e todas as trajetórias têm o carácter de espirais. Ehrenfest assinala outra característica interessante do espaço tridimensional: o número de rotações é o mesmo que o número de translações (três em cada caso). Em duas dimensões há uma rotação (como num prato de gira-discos) mas duas translações (ao longo de x e ao longo de y). Em quatro dimensões existem seis rotações e quatro translações.

¹⁰ Pode ser o caso de o universo possuir mais de quatro dimensões de espaço-tempo, com todas exceto quatro dimensões enroladas (“compactificadas”) e indetetáveis. Assim, à distância, uma mangueira parece uma linha, mas na realidade consiste numa

pilha de círculos bidimensionais; portanto, uma linha real no espaço-tempo poderá ser uma versão compactificada de uma hipersuperfície, e o nosso espaço-tempo quadridimensional poderá ser tudo o que resta de um espaço-tempo de dimensão superior fortemente enrolado. Há muito mais do que capricho neste pensamento, pois há atualmente fortes indícios de que habitamos um universo de dez dimensões, no qual seis dimensões foram enroladas. O raio das “mangueiras” que confundimos com linhas é da ordem de 10^{-35} m, pelo que há pouca possibilidade de as observarmos diretamente (mas há todas as possibilidades de observarmos as suas consequências).

¹¹ Jogos de palavras com nós são quase inevitáveis, mesmo em três dimensões.

Um nó matemático pode ser imaginado como um pedaço de corda atado, com as extremidades unidas de modo a que não possa ser desatado. Existem dois nós básicos em três dimensões, e eles não podem ser deformados um no outro:



¹² A teoria da estabilidade dos nós está relacionada com o estudo dos solitões, que também fornecem uma descrição da estabilidade das coisas, como partículas, em termos da topologia do espaço.

A teoria fundamental do espaço-tempo atualmente mais favorecida é a *teoria das cordas*, na qual os elementos básicos do espaço não são pontos, mas entidades lineares (daí “cordas”).

Isto é pura especulação e demasiado vago para ser ciência, mas penso que a ideia de nós embebidos no espaço e efetivamente a distorcê-lo ou, o que pode ser equivalente, a gerar localmente outros nós que depois se propagam até se encontrarem nas proximidades de outro nó semelhante, que então atua como antena e responde ao nó em passagem, possui semelhanças tão marcantes com as forças conhecidas e as suas interações que sugere verdade. A imagem assemelha-se à explicação topológica da interação eletromagnética. Nessa explicação, o espaço é considerado cheio de buracos de minhoca, com uma entrada num ponto e uma saída noutro. Linhas de força eletromagnéticas passam então pelo buraco. Um observador vê-as desaparecer num ponto (e chama-lhe uma carga de um sinal) e aparecer noutro (e chama-lhe carga oposta). Outros tipos de força poderiam então ser considerados como outras distorções topológicas do espaço-tempo.

¹³ Estruturas de dois componentes têm importância extraordinária na teoria quântica.

¹⁴ As equações de Maxwell descrevem o campo eletromagnético. Foram o primeiro passo na unificação das forças, no sentido de que mostram que a eletricidade e o magnetismo são intrinsecamente o mesmo. A singularidade das equações de Maxwell em termos da dimensionalidade do espaço-tempo tem sido investigada. Um conjunto de observações indica como quatro dimensões são preferidas. Por exemplo, as equações de Maxwell possuem uma simetria que se revela apenas num espaço-tempo quadridimensional, e apenas em quatro dimensões se pode executar uma operação técnica particular sobre o campo eletromagnético que também pode ser aplicada ao campo gravitacional. A investigação baseia-se numa observação feita por Einstein de que “as equações gravitacionais para o espaço vazio determinam o seu campo tão fortemente quanto fazem as de Maxwell”. Mostra-se que apenas em quatro dimensões esta observação se aplica. A importância deste resultado parece ser que o eletromagnetismo e a gravitação podem ocorrer conjuntamente numa teoria de campo unificado apenas num espaço-tempo quadridimensional que tenha sofrido compactificação para quatro dimensões.

¹⁵ As equações da relatividade geral em espaços-tempos de várias dimensionalidades têm sido consideradas. Num espaço-tempo bidimensional podemos ter curvatura, mas não matéria (implicando curvatura arbitrária), e num espaço-tempo tridimensional o espaço deve ser plano, implicando que a matéria não pode interagir gravitacionalmente. A exploração das equações de campo em espaços-tempos de alta dimensão, as teorias de Kaluza-Klein mencionadas acima, é atualmente alvo de considerável interesse e algum sucesso na unificação da gravitação com as outras forças da natureza.

¹⁶ Foi observado o papel do tempo bidimensional e da conservação da energia.

No caso de $(+, +, +, -)$, o raio do universo pode começar em zero e atingir o seu valor máximo numa época posterior, para depois colapsar. No caso de $(+, +, +, +)$, o universo move-se em direção a um raio mínimo diferente de zero ou afasta-se dele. Não existe um momento em que o raio do universo seja zero e, portanto, não há “big bang”.

¹⁷ Estamos no domínio da autorreferência, um tema labiríntico e absorvente em si mesmo. De longe, a mais extraordinária representação da autorreferência na literatura, na música, na arte e na matemática encontra-se no delicioso livro de D. R. Hofstadter. Ele mostra quão espirituoso o espaço-tempo pode ser quando é observado sob a perspetiva da autorreferência.

A dificuldade em imaginar espaços com dimensionalidades pouco familiares não nos deve impedir de os contemplar: a matemática permite-nos discuti-los (o que é, ou um aspeto extraordinário do poder da matemática, ou um aspeto dos seus poderes de autorreferência). Objetos quadridimensionais podem ser representados em três dimensões (tal como objetos tridimensionais são representados em imagens bidimensionais). Hofstadter, no livro acima referido, fornece uma referência para a construção de uma ilusão ótica destinada a pessoas quadridimensionais.

¹⁸ O cérebro é uma linha de transmissão não linear. A informação entra nele por um lado (os sentidos) e é transmitida para uma espécie de recetor generalizado (uma ação ou uma declaração). Para que uma entrada produza um sinal diferente e mais complexo no recetor, é necessária uma linha altamente estruturada e não linear — compare-se, por exemplo, o cérebro com um fio de cobre, que também é uma linha de transmissão, mas demasiado simples para desenvolver uma entrada numa opinião própria.

Um ser unidimensional poderia demonstrar inteligência se desenvolvesse um sistema de ondas não lineares interativas — a não linearidade poderia introduzir a complexidade necessária para a inteligência, mas a construção dessa não linearidade poderia estar para além das possibilidades de tal universo.

CAPÍTULO 5

¹ A referência é à introdução de *The Legacy of Greece*, à qual Murray contribuiu.

² A tetraktys é:

*

**

Os pitagóricos divertiam-se ao notar que gerava os primeiros quatro números inteiros. Ficavam entusiasmados ao constatar que esses inteiros correspondiam ao número de pontos necessários para construir objetos de dimensões sucessivamente superiores:

* 1, um ponto

** 2, uma linha

*** 3, um triângulo

**** 4, um tetraedro

Mas ficaram surpreendidos intelectualmente ao perceber que as razões entre as linhas sucessivas correspondiam aos principais intervalos harmónicos:

2:1 oitava

3:2 quinta

4:3 quarta

Perceberam que a harmonia e, portanto, a beleza, estavam associadas à estrutura do espaço.

³ Para a história da experimentação de Einstein com a constante cosmológica (a adição ad hoc “para este fim específico” às suas equações de campo que impede a expansão do universo), consulte a biografia científica de Einstein *Subtle is the Lord. The science and the life of Albert Einstein* de Abraham Pais.

⁴ O princípio da incerteza estabelece que a posição e o momento (o produto da massa pela velocidade) de uma partícula não podem ser especificados simultaneamente com precisão arbitrária: quanto maior a precisão com que uma propriedade é especificada, menor a precisão permitida para a outra. Heisenberg concebeu vários experimentos mentais para mostrar que todas as medições concebíveis são consistentes com o seu princípio. Alguns interpretaram o princípio como uma limitação dos nossos poderes de medição; eu prefiro considerá-lo como uma limitação da riqueza com que um estado pode ser especificado. Assim, devemos optar por especificá-lo em termos de posições ou em termos de momentos. A física clássica presumiu erroneamente (na ausência de evidência contrária) que ambas as descrições poderiam ser aplicadas simultaneamente. Todos (creio que todos) os enigmas da medição quântica surgem da nossa determinação em permanecer presos ao condicionamento clássico, insistindo (geralmente de forma oculta) em pensar simultaneamente em termos de posições e momentos; os enigmas desaparecem com a imposição de uma disciplina rígida. O princípio da incerteza é uma grande simplificação no sentido de que nos instrui a focar numa ou noutra folha de descrição. Nem todos compreenderam o princípio da incerteza desta forma, e alguns pensadores profundos continuam a argumentar que ele é profundamente enigmático. O que é claro (na minha opinião) é que o princípio da incerteza não limita o nosso conhecimento do mundo, mas reajusta a nossa visão condicionada classicamente sobre o que é conhecível.

⁵ As descrições populares de especulações sobre teorias de tudo (TdT) vendem atualmente como pão quente em dia de apocalipse; para um excelente levantamento, consulte o livro *Theories of Everything: The Quest for Ultimate Explanation* de John D. Barrow.

⁶ Para uma introdução às ideias de Chomsky, consulte o livro breve *Chomsky* de John Lyons. Este livro contém uma excelente biografia anotada.

⁷ Uma descrição do surgimento dos números a partir do absoluto nada, de forma mais rica (mas ainda fundamentalmente vazia), foi apresentada pelo sempre fecundo matemático John Conway no livro *On Numbers and Games* (entre cujos outros feitos se inclui a invenção do jogo da vida).

⁸ Algumas das imagens que invadem o cérebro e que podem ser calculadas, e que deram origem a um novo paradigma tanto da arte como da ciência, foram publicadas e estão, de facto, disponíveis de forma a serem enquadradas e penduradas. A matemática dessas imagens foi explorada por Schroeder. A diferença entre uma imagem fractal e a Mona Lisa é que, quando esta última é observada de perto, vê-se uma mancha de tinta cada vez mais amorfa; no entanto, quando uma imagem fractal é observada, vê-se cada vez mais detalhe. A arte fractal é uma arte sem fim. Olhá-la é como estar num precipício de beleza fascinante sobre um abismo de profundidade infinita.

⁹ Agora, embora possa parecer que estou a sugerir que o caminho a seguir, a última corrida rumo à compreensão total, possa ser o ressurgimento de uma espécie de metafísica, devo enfatizar que considero essencial testar as nossas ideias experimentalmente em cada etapa. É absolutamente essencial que qualquer especulação metafísica seja confrontada com os resultados dos experimentos. Este tem sido o pilar do sucesso da ciência durante trezentos anos, e seria insensato descartar agora este procedimento. Contudo, mesmo na nossa timidez, não devemos ser de mente limitada: se confiamos na nossa ciência, devemos estar preparados para lançar-nos num modo diferente de compreensão. A ciência convencional guiou-nos até à matemática que funciona: deixemos, então, que procuremos cautelosamente ler a mensagem contida no seu sucesso.

Devo confessar que me sinto bastante confuso neste ponto. Ninguém ainda sabe o que é a consciência, mas pensar nela em termos não locais, fortes e de estruturalismo profundo, da mesma forma que poderíamos pensar na união da matemática com a realidade física, pode revelar-se a base de uma abordagem sistémica global útil para a nossa compreensão do próprio ato de compreender.

CAPÍTULO 6

¹ A ideia de uma pré-geometria, um pó de pontos sem estrutura, parece dever-se a Wheeler. Por “pó de pontos sem estrutura”, leia-se “um conjunto de Borel de pontos ainda não organizados numa variedade de qualquer dimensionalidade específica”. Ao longo deste capítulo e do seguinte, poderá ser útil (e, mesmo que não seja útil, provocador do pensamento) ter em mente a descrição do surgimento dos números a partir do conjunto vazio, conforme delineado no Capítulo 5.

² A discussão moderna sobre transições de fase é feita em termos do grupo de renormalização, que consegue tratar várias classes de sistemas em qualquer número de dimensões.

³ Os 7 padrões de frisos, os 17 padrões de papel de parede e os 230 grupos espaciais foram todos descritos em espaços tridimensionais, bem como em espaços de maior dimensionalidade.

⁴ Uma descrição inicial da criação como uma transição de fase foi apresentada, possuindo várias características em comum com o modelo inflacionário. O foco principal do artigo refere-se a como o universo poderia ter começado com abundâncias iguais de matéria e antimatéria, mas ter-se tornado assimétrico de modo que, atualmente, o universo seja composto inteiramente por matéria. Isto é expresso da seguinte forma: “Pode especular-se que o universo começou no estado mais simétrico possível e que, nesse estado, não existia matéria: o universo era um vácuo. Um segundo estado estava disponível, e nele existia matéria. O segundo estado apresentava ligeiramente menos simetria, mas também era de menor energia. Eventualmente, surgiu uma região da fase menos simétrica que cresceu rapidamente. A energia libertada pela transição materializou-se na criação de partículas. Este evento poderá ser identificado com o ‘Big Bang’.” Para o desenvolvimento deste modelo no contexto do universo inflacionário, veja-se as referências citadas acima.

⁵ John Updike parece ter ficado cativado por esta imagem, pois ela inspirou as páginas finais do seu romance *Roger’s Version*.

⁶ Flutuações em pequena escala na geometria do espaço-tempo estão a ocorrer à nossa volta (e dentro de nós). O tempo todo e em todo o lado, a geometria do espaço-tempo está a desmoronar-se e a reformar-se, mas ocorre numa escala tão pequena que não a percebemos. A escala de comprimento onde as flutuações são significativas é o comprimento de Planck, que é igual a $1,6 \times 10^{-33}$ cm. Isto sugere, na expressão de Wheeler, a “natureza espumosa do espaço”.

⁷ Não está inteiramente claro qual o papel de “improvável” nesta discussão. Pode certamente ser reinterpretado como “peso estatístico baixo”, como em *Gravitation*; mas, se estivermos verdadeiramente fora do tempo, então pareceria que qualquer evento ocorre independentemente da sua probabilidade, desde que não seja absolutamente impossível. Se assim for, então os universos são criados “o tempo todo” e a coleção atual de universos é infinita e expande-se infinitamente rápido. Embora vasto, este nível de especulação não representa, naturalmente, um limite.

⁸ O Big Bang tem sido alvo de algumas críticas nos últimos anos, e algumas pessoas foram levadas a acreditar que a teoria falhou. Na realidade, o modelo padrão relativístico do Big Bang quente continua a ser a melhor teoria que temos sobre a origem do cosmos; não existem contradições bem estabelecidas com a observação, e o número de previsões e interpretações que foram feitas com base nesta teoria supera substancialmente os elementos utilizados na sua formulação. O caso a favor da teoria é defendido por Peebles, Schramm, Turner e Kron. Seja se as versões mais elaboradas da cosmogênese são viáveis, como o universo inflacionário, no qual se supõe que a Era atual de expansão foi precedida por um breve instante de expansão colossal, continua a ser uma questão em aberto. Observações muito recentes (abril de 1992) da textura no fundo cósmico de micro-ondas acrescentam apoios experimentais impressionantes ao cenário do Big Bang e um suporte cautelosamente otimista para uma Era inflacionária.

⁹ Claro que não quero dizer que um elefante e um antielefante possam surgir subitamente do nada. É por isso que tenho enfatizado a importância da procura de simplicidades. Entidades de extrema simplicidade podem ser suficientemente simples para surgir do nada de uma forma que ainda temos de discutir.

¹⁰ A descrição de antipartículas em termos de partículas a evoluir para trás no tempo foi introduzida por E. C. G. Stückelberg e desenvolvida por R. P. Feynman. Tem sido sugerido que a razão pela qual cada elétron no universo é idêntico é que existe apenas um, e que percebemos uma secção transversal do seu percurso enquanto tece para trás e para a frente no tempo, e, portanto, pensamos que são muitos. Esta observação é atribuída a J. A. Wheeler no decurso de uma conversa telefónica com R. P. Feynman (ou vice-versa). Tais especulações ousadas, independentemente da sua veracidade, epitomizam a atitude científica, senão o seu método.

¹¹ Foi sugerida a ideia de que a existência do espaço-tempo e a natureza da geometria podem ser encaradas como física emergindo das estatísticas de proposições longas. Este é o pensamento subjacente às observações sobre “relações”: a possibilidade de concatenar entidades em redes autoconsistentes. As partículas são então as autoconsistências permissíveis, sendo as redes os nós do espaço-tempo. Apenas em três dimensões de espaço e uma de tempo é que esta rede lógica pode adquirir riqueza suficiente (e estabilidade). No apêndice referido, os autores admitem falhar; contudo, isso não significa que a ideia esteja errada. Pode ser apropriado regressar a um problema deixado em aberto no Capítulo 5, onde vimos a sugestão de uma analogia entre a cosmogênese e o surgimento da matemática. Embora um sistema de números possa ser gerado a partir do conjunto vazio, fica a persistente suspeita de que uma lógica foi imposta para alcançar a emergência. Agora, pode ser que a lógica surja simultaneamente com os números, num procedimento de autoarranque semelhante ao esboçado aqui, e que a única matemática que possuímos seja aquela com autoconsistência suficientemente universal.

A composição de entidades discretas de dois componentes num espaço-tempo, o surgimento de uma geometria, é a base da teoria dos twistores.

¹² Embora sem querer seguir demasiado transparentemente todas as modas atualmente bem-sucedidas, é interessante notar que a separação do nada em opostos poderia conter uma analogia com a formação de cordas: a separação é como o surgimento de uma linha com dois extremos a partir de um ponto sem dimensão.

Cito do mesmo Apêndice mencionado acima: “É difícil imaginar um elemento mais simples com o qual a construção da física possa começar do que a escolha sim—não ou verdadeiro—falso ou circuito aberto—fechado. A combinação de tais elementos fornece, no contexto de circuitos, um circuito de comutação... É isomórfico a uma proposição no cálculo proposicional da lógica matemática...” Como desenvolvemos em detalhe, e com cada vez maior obscuridade, no Capítulo 5, esta analogia pode ser a razão subjacente mais profunda pela qual o universo pode ser descrito matematicamente: a matemática é um sistema de lógica e, se esta visão da natureza última do universo estiver correta, não deverá ser surpreendente que a matemática possa ser aplicada à sua descrição. Em certo sentido, a matemática imita a estrutura última. Uma fórmula escrita numa página é uma expressão de um grupo particular de relações incorporadas na estrutura do espaço-tempo.

¹³ Este é o tema da física futura. A imagem que aqui apresento é necessariamente vaga, porque se trata de uma especulação sobre a forma que a solução final do problema da criação terá. Enquanto é possível ser preciso e, com sorte, até lúcido sobre um conceito já estabelecido (porque há algo a compreender e depois a transmitir), é possível apenas ser vago acerca dos eventos que precederam a criação, porque eles não foram estabelecidos quantitativamente. No entanto, existem razões para não considerar estes comentários como absurdos ou fora da ciência. Em primeiro lugar, deve existir algum mecanismo para a criação e para o seu surgimento. O que tentamos expressar com estas observações é que existe a possibilidade de explicar a criação e os eventos que a precederam. Só teremos realmente atingido o objetivo quando essa possibilidade tiver sido expressa quantitativamente. Quando isso acontecer, gostaria de pensar que a sua verbalização seguirá as linhas esboçadas nestas páginas. Em certo sentido, é apenas uma intuição, mas consistente com toda a orientação da ciência moderna. Naturalmente, se a cosmogênese se revelar como descrevo (o que acharia muito satisfatório), então este pequeno ensaio não mereceria mais crédito do que qualquer outro relato mítico: todo o crédito na ciência vai, corretamente, apenas para aqueles que conquistam cada passo em frente recorrendo a experimentação avaliada publicamente e a matemática profundamente argumentada. Toda a especulação de poltrona, mesmo quando acerta em cheio, é relativamente desprezível.

CAPÍTULO 7

¹ Como mencionado acima, se o universo é aberto ou fechado é, por si só, uma questão em aberto, embora a opinião esteja a tender para considerar que é plano. Isso encaixaria melhor com a visão de que uma quantidade finita de matéria foi gerada na criação. Um universo aberto e eterno teria também uma extensão espacial infinita em todos os tempos, mesmo no princípio, caso este tivesse existido.

² Existem pares de quark e antiquark, que transmitem a força forte. Mas apenas trlos de quarks (ou de antiquarks) foram observados. A existência dos quarks já não é seriamente posta em dúvida: experiências com prótons mostraram que estes têm uma estrutura interna que se comporta como três quarks deveriam. Em particular, os quarks parecem agir como pontos sem dimensão (como o elétron); existem também especulações sobre uma estrutura interna.

³ O papel das magnitudes das constantes fundamentais, especialmente na medida em que permitem a evolução da consciência até ao ponto de poder questioná-las, tem sido investigado. Também foi examinada a possibilidade de mudarem com o tempo. Carter, por exemplo, salienta que a divisão das estrelas da sequência principal em gigantes azuis e anãs vermelhas depende de uma coincidência crítica entre as intensidades das interações eletromagnética e gravitacional. Se a gravidade fosse apenas um pouco mais forte (ou apenas marginalmente mais fraca), todas as estrelas da sequência principal seriam gigantes azuis. A formação planetária parece envolver anãs vermelhas e, portanto, planetas, e presumivelmente a consciência, não teria emergido. Carr e Rees tratam o assunto com mais detalhe, abordando os tamanhos de planetas, montanhas e humanos e as suas lesões, bem como a distribuição dos elementos. Todo o campo da antropocentricidade moderna é maravilhosa e minuciosamente explorado por Barrow e Tipler.

⁴ Não houve praticamente qualquer progresso na dedução dos valores das constantes fundamentais. Isso poderá significar que não há progresso a alcançar, tal como não há progresso em justificar o valor do fator π para converter um raio em circunferência (mas mostrar que eram parâmetros intrinsecamente topológicos seria, claro, um progresso). Muitas pessoas propuseram combinações de π que dão quase o valor experimental correto de α , mas existem estatisticamente inúmeras formas de construir números próximos de $1/137,0360$. A expressão mais simples para α , que também dá o valor experimental de 1992 (com sete algarismos significativos), é $1/\sqrt{137^2 + \pi^2}$, mas isso também poderá ser coincidência. O problema pode assemelhar-se a “explicar” o valor da proporção áurea, $\phi = 1/2(1 + \sqrt{5}) = 1,61803$.

⁵ A ciência fundamental pode estar quase no fim e poderá ser completada dentro de uma geração. Vistas semelhantes já foram defendidas antes, mas na altura confundiu-se pequenez com simplicidade. Só quando a estrutura tiver sido despida até ao ponto em que deixa de necessitar de estrutura adicional — quando tiver sido despida até ao ponto de extrema simplicidade, como a ausência de extensão espacial — podemos ter confiança de que atingimos o fim. Só quando tudo puder ser explicado em termos extremamente simples, quando tudo quase literalmente se encaixar sem termos de justificar as suas propriedades, a ciência fundamental estará prestes a repousar.

Isso não significa que a ciência como um todo precise alguma vez de adormecer. Existem questões extremamente difíceis e importantes, como aquelas relativas aos detalhes da função biológica, que permanecerão, pelo menos durante algumas centenas de anos. Tais questões envolvem a exploração dos ramos da árvore do conhecimento, mas a natureza fundamental do mundo, as raízes da árvore, em breve será qualitativa e quantitativamente certa.