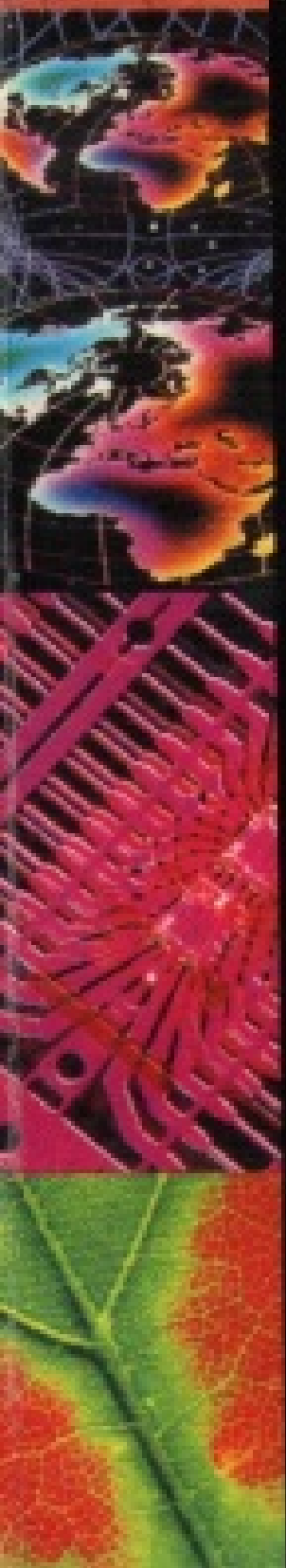
"A leitura deste livro pode mudar a sua vida... Teoria de tudo, mecânica quântica, realidade virtual, método científico, evolução, significado da vida, computação quântica, natureza da matemática, viagem no tempo, o fim do nosso Universo: tudo isso e muito mais encontra lugar... é um livro impressionante."

– Julian Brown, *New Scientist*



A ESSÊNCIA DA REALIDADE

Uma revolucionária visão da realidade, entrelaçada pelas teorias da EVOLUÇÃO, do CONHECIMENTO, da FÍSICA QUÂNTICA e da CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

DAVID DEUTSCH

MAKRON Books

A ESSÊNCIA DA REALIDADE

DAVID DEUTSCH

Tradução

Brasil Ramos Fernandes

Revisão Técnica

André Koch Torres Assis
Professor do Instituto de Física da Unicamp
Pesquisador das áreas de Eletromagnetismo, Gravitação e Cosmologia

MAKRON Books do Brasil Editora Ltda.
Rua Tabapuã, 1348 São Paulo-SP

Prefácio

Se há uma única motivação para a visão de mundo descrita neste livro, é que graças principalmente a uma sucessão de descobertas científicas extraordinárias, agora possuímos algumas teorias extremamente profundas sobre a estrutura da realidade. Se tivermos de entender o mundo em um nível mais do que superficial, deve ser por meio dessas teorias e da razão, e não dos nossos preconceitos, opiniões recebidas ou até do senso comum. Nossas melhores teorias não são somente mais verdadeiras que o senso comum, elas fazem muito mais sentido. Devemos levá-las a sério, não meramente como fundamentos pragmáticos para seus respectivos campos, mas como explicações do mundo. E acredito que podemos alcançar o mais amplo entendimento se não as considerar mos isoladamente, mas em conjunto, pois elas estão inextricavelmente relacionadas.

Pode parecer estranho que esta sugestão - de que devemos tentar formar uma visão de mundo racional e coerente com base nas nossas melhores e mais fundamentais teorias - deva ser nova ou controversa. Contudo, na prática ela é. Um motivo é que cada uma dessas teorias tem, quando levada a sério, implicações muito contra-intuitivas. Consequentemente, foram feitos todos os tipos de tentativas para evitar enfrentar essas implicações, fazendo modificações “ad hoc” ou reinterpretações das teorias ou estreitando arbitrariamente seu domínio de aplicabilidade, ou simplesmente usando-as na prática, mas não extraindo nenhuma conclusão mais ampla. Deverei criticar algumas dessas tentativas (nenhuma das quais, acredito, tem muito mérito), mas apenas quando isso for um meio conveniente de explicar as próprias teorias. Pois este livro não é primordialmente uma defesa dessas teorias: é uma investigação sobre como seria a estrutura da realidade se elas fossem verdadeiras.

Agradecimentos

O desenvolvimento das idéias neste livro foi amplamente auxiliado por conversas com Bryce DeWitt, Artur Ekert, Michael Lockwood, Enrico Rodrigo, Dennis Sciama, Frank Tipler, John Wheeler e Kolya Wolf. Agradeço a meus amigos e colegas Ruth Chang, Artur Ekert, David Johnson Davies, Michael Lockwood, Enrico Rodrigo e Kolya Wolf, a minha mãe Tikvah Deutsch e aos meus editores Caroline Knight e Ravi Mirchandani (da Penguim Books), a John Woodruff e especialmente a Sarah Lawrence, pela leitura cuidadosa e crítica dos primeiros rascunhos do livro e por sugerirem muitas correções e melhorias. Também estou grato àqueles que leram e comentaram partes do manuscrito, incluindo Harvey Brown, Steve Graham, Rossella Lupaccini, Svein Olav Nyberg, Oliver e Harriet Strimpel, e especialmente Richard Dawkins e Frank Tipler.

1 A Teoria de Tudo

Lembro-me que me disseram, quando criança, que nos tempos antigos era possível a uma pessoa muito instruída saber tudo o que era conhecido. Também me disseram que hoje em dia existe tanto conhecimento que ninguém seria capaz de aprender mais do que uma pequena fração dele, mesmo durante uma vida longa. Esta última afirmação me surpreendeu e desapontou. Na verdade, recusei-me a acreditar nela. Não sabia como justificar a minha descrença, mas sabia que não queria que as coisas fossem assim e invejava as pessoas instruídas de antigamente. Não que eu quisesse memorizar todos os fatos descritos nas enciclopédias do mundo; ao contrário, eu odiava memorizar fatos. Não era nesse sentido que eu esperava ser possível saber tudo o que era conhecido. Não me desapontaria ouvir que todos os dias aparecem mais publicações do que qualquer um poderia ler em uma vida inteira ou que existem 600.000 espécies conhecidas de besouros. Eu não tinha desejo de acompanhar a queda de cada pardal. Nem imaginava que um sábio antigo que supostamente sabia tudo o que era conhecido teria sabido tudo a respeito desse tipo de coisa. Eu tinha em mente uma ideia mais discriminadora do que deveria ser considerado como sendo conhecido. Por "conhecido" eu queria dizer entendido.

A ideia de uma pessoa poder entender tudo o que é entendível ainda parece fantástica, mas é distintamente menos fantástica do que a noção de que uma pessoa poderia memorizar todos os fatos conhecidos. Por exemplo, ninguém poderia memorizar todos os dados observacionais conhecidos de um assunto tão restrito quanto os movimentos dos planetas, mas muitos astrônomos entendem esses movimentos em toda a extensão em que podem ser entendidos. Isso é possível porque o entendimento não depende de saber muitos fatos, mas de ter os conceitos, explicações e teorias corretos. Uma teoria comparativamente simples e compreensível pode cobrir uma infinidade de fatos indigestos. Nossa melhor teoria sobre os movimentos planetários é a teoria da relatividade geral de Einstein, que no começo do século XX suplantou as teorias de Newton sobre a gravidade e o movimento. Em princípio, ela prevê corretamente não apenas todos os movimentos planetários, mas também todos os outros efeitos da gravidade até os limites de exatidão das nossas melhores medições. Uma teoria prever alguma coisa "em princípio" significa que as previsões seguem-se logicamente a partir da

teoria, mesmo que na prática a quantidade de cálculo necessária para gerar algumas das previsões seja grande demais para nos ser tecnologicamente exequível, ou mesmo grande demais para ser fisicamente possível levar a cabo no universo como o encontramos.

Ser capaz de prever coisas ou descrevê-las, ainda que com exatidão, não é de forma alguma a mesma coisa que entendê-las. As previsões e descrições em física muitas vezes são expressas como fórmulas matemáticas. Suponha que eu memorize a fórmula com a qual poderia, se tivesse tempo e inclinação para isso, calcular qualquer posição planetária que foi registrada nos arquivos astronômicos. O que exatamente ganhei, em comparação com a memorização direta dos arquivos? A fórmula é mais fácil de lembrar — mas então, procurar um número nos arquivos pode ser até mais fácil do que calculá-lo a partir da fórmula. A verdadeira vantagem da fórmula é que pode ser usada em uma infinidade de casos além dos dados arquivados, por exemplo, para prever os resultados de observações futuras. Pode também fornecer as posições históricas dos planetas com mais exatidão, pois os dados arquivados contêm erros de observação. Contudo, embora a fórmula resuma infinitamente mais fatos do que os arquivos, conhecê-la não resulta em entender os movimentos planetários. Fatos não podem ser entendidos apenas por serem resumidos em uma fórmula, não mais do que serem registrados em papel ou depositados na memória. Eles só podem ser entendidos quando são explicados. Felizmente, nossas melhores teorias incorporam explicações profundas e também previsões exatas. Por exemplo, a teoria da relatividade geral explica a gravidade em termos de uma nova geometria quadridimensional de espaço e tempo curvos. Explica precisamente como essa geometria afeta e é afetada pela matéria. Essa explicação é todo o conteúdo da teoria; previsões sobre movimentos planetários são meramente algumas das consequências que podemos deduzir da explicação.

O que torna a teoria da relatividade geral tão importante não é que ela pode prever movimentos planetários com mais exatidão que a teoria de Newton, mas o fato de ela revelar e explicar aspectos insuspeitos da realidade, como a curvatura do espaço e tempo. Isto é típico da explicação científica. Teorias científicas explicam os objetos e fenômenos da nossa experiência em termos da realidade subjacente que não experimentamos diretamente. Mas a capacidade de uma teoria explicar o que experimentamos não é seu atributo mais valioso. Seu atributo mais importante é o que explica a própria estrutura da realidade. Como veremos, um dos atributos mais

significativos, valiosos e úteis do pensamento humano geralmente é sua habilidade para revelar e explicar a estrutura da realidade.

Contudo, alguns filósofos — e até alguns cientistas — menosprezam o papel da explicação em ciência. Para eles o propósito básico de uma teoria científica não é explicar alguma coisa, mas prever os resultados dos experimentos: todo o seu conteúdo reside em fórmulas que permitem fazer previsões. Eles consideram que qualquer explicação consistente que uma teoria possa dar para suas previsões é tão boa quanto qualquer outra — ou tão boa quanto nenhuma explicação — desde que as previsões sejam verdadeiras. Esta visão é chamada instrumentalismo (porque diz que uma teoria não é nada mais do que um "instrumento" para fazer previsões). Para os instrumentalistas, o conceito de que a ciência pode nos capacitar a entender a realidade subjacente que explica as nossas observações é falácia e fantasia. Eles não veem como qualquer coisa que uma teoria científica possa dizer além de prever os resultados dos experimentos possa ser mais do que palavras vazias. Consideram as explicações, em particular, como meras escoras psicológicas: um tipo de ficção que incorporamos a teorias para torná-las mais facilmente lembradas e divertidas. O físico ganhador do prêmio Nobel Steven Weinberg estava com disposição instrumentalista quando fez este extraordinário comentário sobre a explicação da gravidade por Einstein: O importante é ser capaz de fazer previsões sobre imagens nas placas fotográficas dos astrônomos, frequências de linhas espectrais e assim por diante e simplesmente não importa se atribuímos essas previsões aos efeitos físicos de campos gravitacionais sobre o movimento de planetas e fótons [como na física pré-Einstein] ou a uma curvatura do espaço e tempo. (Gravitation and Cosmology, p. 147) Weinberg e os outros instrumentalistas estão enganados. O que atribuímos às imagens nas placas fotográficas dos astrônomos tem importância, e não somente para físicos teóricos como eu, cuja motivação para formular e estudar teorias é o desejo de entender melhor o mundo. (Tenho certeza de que esta é também a motivação de Weinberg: ele não é realmente levado por um impulso para prever imagens e espectros!) Pois até mesmo em aplicações puramente práticas, o poder explanatório de uma teoria é da maior importância e seu poder de previsão é apenas suplementar. Se isso parece surpreendente, imagine que um cientista extraterrestre visitou a Terra e nos deu um "oráculo" de altíssima tecnologia que pode prever o resultado de qualquer experimento possível, mas não oferece explicações. De acordo com os instrumentalistas, uma vez que

tenhamos esse oráculo, não deveremos ter mais nenhuma utilidade para teorias científicas, exceto como um meio de nos entreter. Mas isso é verdade? De que maneira o oráculo seria usado na prática? Em um certo sentido, ele conteria o conhecimento necessário para construir, digamos, uma nave interestelar. Mas como, exatamente, isso nos ajudaria a construí-la, ou a construir um outro oráculo do mesmo tipo — ou até uma ratoeira melhor? O oráculo somente prevê os resultados dos experimentos. Portanto, para podermos utilizá-lo devemos primeiro saber sobre quais experimentos devemos perguntar. Se lhe dermos o projeto de uma espaçonave e os detalhes de um voo de teste proposto, ele poderia nos dizer como seria o desempenho da nave nesse voo. Mas, para começar, não poderia projetar a espaçonave. E mesmo se previsse que a nave que tínhamos projetado explodiria na decolagem, não poderia nos dizer como impedir a explosão. Isso ainda seria trabalho nosso resolver. E antes que pudéssemos resolver este problema, antes que pudéssemos até mesmo começar a melhorar o projeto de qualquer forma, precisaríamos entender, entre outras coisas, como deveria funcionar a nave espacial. Somente então teríamos alguma oportunidade de descobrir o que poderia causar uma explosão durante a decolagem. Previsão — mesmo perfeita e universal — simplesmente não é substituto para explicação.

De modo semelhante, em pesquisa científica o oráculo não ofereceria qualquer teoria nova. Até termos uma teoria e pensarmos em um experimento que a testasse, não poderíamos perguntar ao oráculo o que aconteceria se a teoria fosse submetida ao teste. Desta forma, o oráculo não estaria substituindo teorias: estaria substituindo experimentos. Pouparíamos a despesa de manter laboratórios e aceleradores de partículas. Em vez de construir protótipos de espaçonaves e arriscar a vida de pilotos de teste, poderíamos fazer todos os testes no chão, com pilotos sentados em simuladores de voo cujo comportamento fosse controlado pelas previsões do oráculo.

O oráculo seria muito útil em muitas situações, mas sua utilidade sempre dependeria da habilidade das pessoas para solucionar problemas científicos da mesma maneira que fazem agora, isto é, imaginando teorias explicativas. Ele nem mesmo substituiria toda a experimentação, porque sua capacidade de predizer o resultado de determinado experimento, na prática, dependeria da facilidade de descrever o experimento com exatidão suficiente para o oráculo nos dar uma resposta útil, em comparação com realmente fazer o experimento. Afinal, o oráculo precisaria ter algum tipo de “interface de

usuário". Talvez fosse necessário inserir nele uma descrição do experimento em alguma linguagem padronizada. Nessa linguagem alguns experimentos seriam mais difíceis de especificar do que outros. Na prática, para muitos experimentos a especificação seria complexa demais para ser inserida. Assim, o oráculo teria as mesmas vantagens e desvantagens gerais que qualquer outra fonte de dados experimentais e seria útil somente nos casos em que consultá-lo fosse mais conveniente do que usar outras fontes. Dizendo de outra forma: já existe tal oráculo lá fora, isto é, o mundo físico. Ele nos diz o resultado de qualquer experimento possível se lhe perguntamos na linguagem certa (isto é, se fazemos o experimento), embora em alguns casos não seja prático "inserir uma descrição do experimento" na forma requerida (isto é, construir e operar o dispositivo). Mas ele não nos dá explicações.

Em algumas aplicações, na previsão do tempo, por exemplo, podemos ficar quase tão satisfeitos com um oráculo puramente profético quanto com uma teoria explicativa. Mas mesmo então, isso só seria exatamente assim se a previsão do tempo feita pelo oráculo fosse completa e perfeita. Na prática, as previsões de tempo são incompletas e imperfeitas e, para compensar isso, incluem explicações sobre como os meteorologistas chegaram às suas previsões. As explicações nos permitem julgar a confiabilidade de uma previsão e deduzir previsões adicionais relevantes para a nossa própria localização e necessidades. Por exemplo, para mim faz diferença se a previsão de hoje de que haverá ventos amanhã é baseada na expectativa de uma área de alta pressão das vizinhanças ou de um furacão mais distante. Eu tomaria mais precauções no último caso. Os próprios meteorologistas também precisam de teorias explicativas sobre o clima para que possam adivinhar quais aproximações é seguro incorporar nas suas simulações climáticas por computador, quais observações adicionais permitiriam que a previsão fosse mais exata e mais rápida, e assim por diante.

Desta forma o ideal instrumentalista condensado pelo nosso oráculo imaginário, isto é, uma teoria científica despojada do seu conteúdo explicativo, seria de utilidade muito limitada. Sejamos agradecidos por teorias científicas verdadeiras não se parecerem com esse ideal e por cientistas da vida real não trabalharem por ele.

Uma forma extremada de instrumentalismo, chamada positivismo (ou positivismo lógico), sustenta que todas as afirmações, exceto as que descrevem ou preveem observações, não são apenas supérfluas mas também sem significado. Embora essa doutrina por si mesma não tenha significado,

de acordo com seu próprio critério, ela foi a teoria de conhecimento científico preponderante durante a primeira metade do século XX! Mesmo hoje as ideias instrumentalistas e positivistas ainda têm aceitação. Uma razão para elas serem superficialmente plausíveis é que, embora a previsão não seja o propósito da ciência, é parte do método característico da ciência. O método científico envolve a postulação de uma nova teoria para explicar alguma classe de fenômeno e então fazer um teste experimental crucial, um experimento para o qual a velha teoria prevê um resultado observável e a nova teoria, outro resultado. Rejeita-se a teoria cujas previsões se demonstram falsas. Assim a consequência de um teste experimental crucial para decidir entre duas teorias depende das previsões das teorias e não diretamente das suas explicações. Esta é a fonte da concepção errônea de que não há nada mais em uma teoria científica do que as suas previsões. Mas o teste experimental de forma alguma é o único processo envolvido no aumento do conhecimento científico. A esmagadora maioria das teorias é rejeitada porque contém explicações ruins, não porque falha nos testes experimentais. Nós as rejeitamos sem nunca nos incomodarmos em testá-las. Por exemplo, pense na teoria de que comer um quilo de grama é uma cura para o resfriado comum. Essa teoria faz previsões experimentalmente testáveis: se as pessoas experimentassem a cura pela grama e descobrissem que é ineficiente, seria provado que a teoria é falsa. Mas ela nunca foi testada e provavelmente nunca será, porque não contém explicação — nem de como a cura funcionaria nem de qualquer outra coisa. Nós presumimos corretamente que ela é falsa. Sempre existem infinitas teorias possíveis desse tipo, compatíveis com observações existentes e fazendo novas previsões, de forma que nunca poderíamos ter tempo ou recursos para testar todas elas. O que testamos são teorias novas, que mostram promessas de explicar as coisas melhor do que as anteriores.

Dizer que a previsão é o propósito da teoria científica é confundir meios com fins. É como dizer que o objetivo de uma espaçonave é queimar combustível. Na verdade, queimar combustível é somente uma das muitas coisas que uma espaçonave tem de fazer para realizar seu objetivo verdadeiro, que é transportar sua carga de um ponto do espaço para outro. Passar em testes experimentais é somente uma das muitas coisas que uma teoria tem de fazer para alcançar o real objetivo da ciência, que é explicar o mundo.

Como eu já disse, explicações são inevitavelmente compostas

parcialmente em termos de coisas que não observamos diretamente: átomos e forças; o interior das estrelas e a rotação das galáxias; o passado e o futuro; as leis da natureza. Quanto mais profunda é uma explicação, mais distantes da experiência imediata estão as entidades a que ela deve se referir. Mas essas entidades não são fictícias; ao contrário, são parte da verdadeira estrutura da realidade.

Explicações muitas vezes produzem previsões, pelo menos em princípio. Na verdade, se uma coisa é, em princípio, previsível, então uma explicação suficientemente completa deve, em princípio, fazer previsões completas (entre outras coisas) sobre ela. Mas muitas coisas intrinsecamente imprevisíveis podem também ser explicadas e entendidas. Por exemplo, você não pode prever que números sairão de uma roleta honesta (isto é, não influenciada). Mas se você entender o que existe no projeto e na operação da roleta que a torna honesta, poderá explicar porque é impossível predizer os números. E, mais uma vez, meramente saber que a roleta é honesta não é a mesma coisa que entender o que a torna honesta.

É o entendimento e não o mero saber (ou descrever ou prever), que estou discutindo. Como o entendimento vem por meio de teorias explicativas e por causa da generalidade que essas teorias podem ter, a proliferação de fatos registrados não torna necessariamente mais difícil entender tudo que é compreendido. Não obstante, a maioria das pessoas diria — e isto é o que me foi dito na época da infância que eu recordei — que não são somente os fatos registrados que têm crescido a uma taxa esmagadora, mas também o número e complexidade das teorias pelas quais entendermos o mundo. Consequentemente (eles dizem), quer tenha ou não sido possível para uma pessoa entender tudo o que era entendido na ocasião, certamente não é possível agora, e está ficando cada vez menos possível à medida que aumenta o nosso conhecimento. poderia parecer que toda vez que é descoberta uma nova explicação ou técnica relevante para uma dada matéria, outra teoria deve ser acrescentada à lista que qualquer um que deseje entender essa matéria deve aprender e que, quando o número de tais teorias sobre qualquer assunto se torna grande demais, desenvolve-se a especialização. A física, por exemplo, se dividiu em ciências da astrofísica, termodinâmica, física de partículas, teoria quântica de campos e muitas outras. Cada uma delas é baseada em um quadro teórico pelo menos tão rico quanto o todo da física era centenas de anos atrás, e muitas já estão se dividindo em subespecializações. Quanto mais descobrimos, parece, somos cada vez mais irrevogavelmente

propelidos para a época do especialista e mais remoto fica aquele tempo hipotético antigo, quando o entendimento de uma única pessoa podia abarcar tudo o que era entendido.

Quando confrontada com esse vasto cardápio em rápido crescimento de teorias coletadas pela raça humana, uma pessoa pode ser perdoada por duvidar que um indivíduo seria capaz de provar todos os pratos durante uma vida, quanto mais, como pode ter sido possível no passado, apreciar todas as receitas conhecidas. Não obstante, a explicação é um tipo estranho de alimento — uma porção maior não é necessariamente mais difícil de engolir. Uma teoria pode ser suplantada por outra que explique mais e seja mais exata, mas também mais fácil de entender, e neste caso a velha teoria torna-se redundante e ganhamos mais entendimento enquanto precisamos aprender menos do que antes. Isso foi o que aconteceu quando a teoria de Nicolau Copérnico sobre a Terra viajando ao redor do Sol superou o complexo sistema ptolomaico, que havia colocado a Terra no centro do universo. Ou uma nova teoria pode ser uma simplificação de outra existente, como quando a notação arábica (decimal) de numeração suplantou os numerais romanos. (A teoria neste caso é implícita. Cada notação torna certas operações, declarações e pensamentos sobre números mais simples do que outras e desta forma incorpora uma teoria sobre quais relacionamentos entre números são úteis ou interessantes.) Ou uma nova teoria pode ser a unificação de duas antigas, dando-nos mais entendimento do que o emprego das antigas lado a lado, como aconteceu quando Michael Faraday e James Clerk Maxwell unificaram as teorias da eletricidade e do magnetismo em uma única teoria do eletromagnetismo. Mais indiretamente, melhores explicações sobre qualquer assunto tendem a melhorar as técnicas, os conceitos e a linguagem com os quais tentamos entender outros assuntos, e assim o nosso conhecimento como um todo, embora aumentado, pode se tornar estruturalmente mais acessível para ser entendido.

Reconhecidamente, acontece com frequência que, mesmo quando velhas teorias são assim agrupadas em novas, as velhas não são inteiramente esquecidas. Até os numerais romanos ainda são usados hoje para algumas finalidades. Os métodos embaraçosos que as pessoas então usavam para calcular que XIX vezes XVII é igual a CCCXXIII não são mais aplicados seriamente, mas não há dúvida de que ainda são conhecidos e entendidos em algum lugar — por historiadores da matemática, por exemplo. Isso significa que não se pode entender “tudo o que é entendido” sem conhecer os numerais

romanos e sua aritmética arcana? Não. Um matemático moderno que por algum motivo nunca tenha ouvido falar de numerais romanos não obstante já possuiria na totalidade o entendimento de sua matemática associada. Aprendendo sobre numerais romanos, esse matemático não estaria adquirindo um novo entendimento, somente novos fatos — fatos históricos e fatos sobre as propriedades de certos símbolos definidos arbitrariamente, em vez de novos conhecimentos sobre os próprios números. Seria como um zoólogo aprendendo a traduzir nomes de espécies para uma língua estrangeira ou um astrofísico aprendendo como culturas diferentes agrupam estrelas em constelações.

É um problema diferente saber se a aritmética dos numerais romanos poderia ser necessária para o entendimento da história. Suponha que alguma teoria histórica — alguma explicação — dependesse das técnicas específicas usadas pelos romanos antigos para multiplicar (um pouco como, por exemplo, foi conjeturado que suas técnicas específicas de canalização, baseadas em canos de chumbo que envenenavam a água potável, contribuíram para o declínio do Império Romano). Então teríamos de saber o que seriam essas técnicas se quiséssemos entender a história e, portanto, também se quiséssemos entender tudo o que é entendido. Mas nesse caso, nenhuma explicação da história recorre a técnicas de multiplicação, portanto nossos registros dessas técnicas são meras exposições de fatos. Tudo o que é entendido pode ser entendido sem apreender esses fatos. Sempre poderemos procurá-los quando, por exemplo, estivermos decifrando um texto antigo que os mencione.

Fazendo distinção continuamente entre entendimento e “mero” conhecimento, não quero diminuir a importância das informações registradas e não explicativas. Isso é, naturalmente, essencial a tudo, da reprodução de um micro-organismo (que tem essa informação em suas moléculas de DNA) ao mais abstrato pensamento humano. Portanto, o que distingue o entendimento do mero conhecimento? O que é uma explicação, em oposição à mera exposição de fato, como uma descrição ou previsão correta? Na prática, normalmente reconhecemos a diferença com bastante facilidade. Nós sabemos quando não entendermos alguma coisa, mesmo que possamos descrever e prever essa coisa com exatidão (por exemplo, o curso de uma doença de origem desconhecida), e sabemos quando uma explicação nos ajuda a entendê-la melhor. Mas é difícil dar uma definição precisa de “explicação” ou “entendimento”. Falando aproximadamente, essas palavras

dizem respeito a “por que” em vez de “o que”; sobre o mecanismo interno das coisas; sobre como as coisas são realmente, não apenas como elas aparentam ser; sobre o que deve ser assim, em vez do que meramente acontece assim; sobre leis da natureza em vez de regras práticas. São também sobre coerência, elegância e simplicidade, em oposição a arbitrariedade e complexidade, embora nenhuma dessas coisas seja fácil de definir também. Mas de qualquer forma, entendimento é uma das funções mais elevadas da mente e do cérebro humanos e também exclusiva. Muitos outros sistemas físicos, como cérebros de animais, computadores e outras máquinas, podem assimilar fatos e agir sobre eles. Mas atualmente não conhecemos nada que seja capaz de entender uma explicação — ou querer uma, em primeiro lugar — além da mente humana. Toda descoberta de uma nova explicação e todo ato de compreender uma explicação existente depende da exclusiva faculdade humana do pensamento criativo.

Podemos pensar no que aconteceu com os numerais romanos como um processo de “rebaixamento” de uma teoria explicativa para a mera descrição de fatos. Esses rebaixamentos acontecem o tempo todo à medida que o nosso conhecimento cresce. Originalmente, o sistema romano de numerais era parte do quadro conceitual e teórico pelo qual as pessoas que os usavam entendiam o mundo. Mas agora o entendimento que era obtido daquela forma é nada mais do que uma pequeníssima faceta do entendimento muito mais profundo incorporado nas modernas teorias matemáticas e, implicitamente, nas notações modernas.

Isso ilustra outro atributo do entendimento. É possível entender alguma coisa sem saber que a entendermos ou mesmo sem ter ouvido especificamente a respeito dela. Isso pode parecer paradoxal, mas naturalmente o ponto principal das explicações gerais e profundas é que elas cobrem situações não familiares e também as familiares. Se você fosse um matemático moderno que encontrasse os numerais romanos pela primeira vez, talvez não percebesse instantaneamente que já os entendia. Primeiro você teria de aprender os fatos sobre o que eles são e então pensar nesses fatos à luz do seu entendimento da matemática. Mas, tendo feito isso, seria capaz de dizer, em retrospecto: “Sim, não há nada de novo para mim no sistema romano de numerais além de meros fatos”. E isso é o que significa dizer que os numerais romanos, em seu papel explicativo, são totalmente obsoletos.

De modo semelhante, quando digo que entendo como a curvatura do

espaço e tempo afeta os movimentos dos planetas, mesmo em outros sistemas solares dos quais nunca tenha ouvido falar, não estou alegando que posso trazer à mente, sem pensar mais, a explicação de todos os detalhes das voltas e oscilações de qualquer órbita planetária. O que eu quero dizer é que entendo a teoria que contém todas aquelas explicações e que poderia, portanto, criar qualquer uma delas no devido tempo, dados alguns fatos sobre determinado planeta. Tendo feito isso, eu poderia ser capaz de dizer em retrospecto: “Sim, não vejo nada no movimento daquele planeta, além de meros fatos, que não seja explicado pela teoria da relatividade geral”. Nós entendermos a estrutura da realidade somente pelo entendimento das teorias que a explicam. E como elas explicam mais do que percebemos imediatamente, podemos entender mais do que percebemos imediatamente que entendermos.

Não estou dizendo que, quando entendermos uma teoria, necessariamente segue-se que entendermos tudo o que ela pode explicar. Com uma teoria muito profunda, o reconhecimento de que ela explica dado fenômeno pode por si mesmo ser uma descoberta significativa que requer explicação independente. Por exemplo, os quasares — fontes de radiação extremamente brilhantes no centro de algumas galáxias — durante muitos anos foram um dos mistérios da astrofísica. Pensava-se que seria necessária uma nova física para explicá-los, mas agora acreditamos que eles são explicados pela teoria da relatividade geral e outras teorias que já eram conhecidas antes da descoberta dos quasares. Acreditamos que os quasares consistem em matéria quente no processo de cair em buracos negros (estrelas colapsadas cujo campo gravitacional é tão intenso que nada pode escapar delas). No entanto, chegar a essa conclusão exigiu anos de pesquisa, tanto de observação quanto teórica. Agora que acreditamos ter alcançado uma medida do entendimento dos quasares, não pensamos que esse entendimento é algo que já tínhamos antes. Explicar os quasares, embora por meio de teorias existentes, nos deu um entendimento genuinamente novo. Da mesma forma que é difícil definir o que é uma explicação, também é difícil definir quando uma explicação auxiliar deve contar como um componente independente do que é entendido e quando deve ser considerada incluída na teoria mais profunda. É difícil definir, mas não tão difícil reconhecer: da mesma forma que com explicações em geral, na prática reconhecemos uma nova explicação quando a recebemos. Mais uma vez, a diferença tem algo a ver com criatividade. Explicar o movimento de determinado planeta, quando já se entende a explicação geral da gravidade, é uma tarefa mecânica, embora

possa ser muito complexa. Mas usar teoria existente para esclarecer quasares requer pensamento criativo. Assim, para entender tudo o que é entendido hoje em astrofísica, você teria de conhecer a teoria dos quasares explicitamente. Mas não teria de conhecer a órbita de qualquer planeta específico.

Portanto, muito embora nosso estoque de teorias conhecidas esteja realmente aumentando como bola de neve, da mesma forma que nosso estoque de fatos registrados, isso ainda não torna necessariamente toda a estrutura mais difícil de entender do que era antes. Pois enquanto nossas teorias específicas estão se tornando mais numerosas e detalhadas, estão continuamente sendo "rebaixadas" à medida que o entendimento que contêm é dominado por teorias mais profundas e mais gerais. E estas teorias estão ficando em número cada vez menor, mais profundas e mais gerais. Por "mais gerais", quero dizer que cada uma delas diz mais sobre um intervalo mais amplo de situações do que faziam previamente várias teorias distintas. Por "mais profundas", quero dizer que cada uma delas explica mais — incorpora mais entendimento — do que suas predecessoras combinadas.

Séculos atrás, se você quisesse construir uma grande estrutura, como uma ponte ou uma catedral, contrataria um mestre construtor. Ele teria algum conhecimento do que é preciso para dar à estrutura força e estabilidade com despesas e esforços menores possíveis. Ele não seria capaz de expressar muito do seu conhecimento na linguagem da matemática e da física, da forma que podemos hoje. Em vez disso, ele dependeria principalmente de uma complexa coleção de intuições, hábitos e regras práticas, que havia aprendido com seu mestre e talvez melhorado por meio de adivinhação e longa experiência. Mesmo assim, essas intuições, hábitos e regras práticas eram efetivamente teorias, explícitas e não explícitas, e continham conhecimento real dos campos que hoje chamamos de engenharia e arquitetura. Você o teria contratado pelo conhecimento dessas teorias, lamentavelmente inexatas, se comparadas com o que temos hoje, e de aplicabilidade muito restrita. Quando admiram estruturas com séculos de existência, as pessoas muitas vezes esquecem que vemos apenas as que sobreviveram. A esmagadora maioria das estruturas construídas em épocas medievais e anteriores desmoronaram há muito tempo, várias vezes logo depois de construídas. Isso era especialmente verdadeiro para estruturas inovadoras. Era tido como certo que a inovação arriscava provocar catástrofes e os construtores raramente se desviavam muito dos projetos e técnicas validados por longa tradição. Contrastando com isso, hoje em dia é muito raro que qualquer estrutura — mesmo uma que seja

diferente de qualquer coisa que tenhamos visto antes — fracasse por causa de falha de projeto. Qualquer coisa que um antigo mestre construtor possa ter construído, seus colegas modernos podem construir melhor e com muito menos esforço humano. Eles podem também construir estruturas que ele dificilmente poderia ter sonhado, como arranha-céus e estações espaciais. Podem usar materiais dos quais o mestre nunca teria ouvido falar, como fibra de vidro ou concreto reforçado, e nunca teria usado, mesmo se os tivesse recebido de alguma forma, pois dispunha de um escasso e impreciso entendimento de como funcionam os materiais.

O progresso até o nosso atual estado de conhecimento não foi alcançado pela acumulação de mais teorias do mesmo tipo que o mestre construtor conhecia. Nosso conhecimento, tanto explícito quanto não explícito, não é somente muito maior do que o dele, mas também estruturalmente diferente. Como eu já disse, as teorias modernas são em menor quantidade, mais gerais e mais profundas. Para cada situação que o mestre construtor encarava enquanto construía alguma coisa do seu repertório — digamos, ao decidir qual deveria ser a espessura de uma parede para suportar uma carga — ele tinha uma intuição ou regra prática razoavelmente específica que, entretanto, poderia dar respostas erradas se fosse aplicada a situações novas. Atualmente deduzimos essas coisas a partir de uma teoria geral o bastante para que seja aplicada a paredes feitas de qualquer material, em todas as situações: na Lua, sob a água ou em qualquer outro lugar. O motivo para ela ser tão geral é que é baseada em explicações bem profundas sobre como os materiais e as estruturas funcionam. Para encontrar a espessura adequada de uma parede que deverá ser feita com um material desconhecido, usa-se a mesma teoria que para qualquer outra parede, mas começam-se os cálculos assumindo fatos diferentes — usando valores numéricos diferentes para os vários parâmetros. Deve-se procurar esses fatos, tais como a resistência à tração e a elasticidade do material, mas não se precisa de entendimento adicional.

É por isso que, apesar do entendimento incomparavelmente maior que o do antigo mestre construtor, um arquiteto moderno não precisa de treinamento maior ou mais árduo. Uma teoria típica do plano de ensino de um estudante moderno pode ser mais difícil de entender do que qualquer uma das regras práticas do mestre construtor; mas as teorias modernas são em muito menor quantidade e seu poder explicativo lhes dá outras propriedades, como beleza, lógica interna e conexões com outros assuntos que as tornam mais fáceis de aprender. Sabe-se agora que algumas das regras práticas

antigas são errôneas, ao passo que outras são verdadeiras ou boas aproximações da verdade, e sabemos por que isso acontece. Algumas ainda estão em uso, porém mais nenhuma delas é a fonte do entendimento de qualquer pessoa sobre o que mantém as estruturas em pé.

Naturalmente não estou negando que a especialização está acontecendo em muitos campos em que o conhecimento está crescendo, incluindo a arquitetura. Este não é um processo de mão única, pois especializações muitas vezes também desaparecem: rodas não são mais projetadas ou construídas por fazedores de rodas ou arados por fazedores de arados, nem as cartas são escritas por escribas. Não obstante, é muito evidente que a tendência aprofundadora e unificadora que tenho descrito não é a única em funcionamento: um contínuo alargamento está em curso ao mesmo tempo.

Isto é, ideias novas muitas vezes fazem mais do que apenas suplantar, simplificar ou unificar as já existentes. Elas também estendem o entendimento humano para áreas que anteriormente não eram entendidas de forma alguma — ou cuja existência não era adivinhada. Elas podem abrir novas oportunidades, novos problemas, novas especializações e até novos campos. E quando isso acontece, poderão nos dar, pelo menos temporariamente, mais para aprender para que possamos entender tudo isto.

A ciência da medicina é talvez o caso mais frequentemente citado de crescente especialização, parecendo seguir inevitavelmente do conhecimento crescente, à medida que são descobertas novas curas e melhores tratamentos para mais doenças. Mas, mesmo na medicina, a tendência oposta e unificadora também está presente e se tornando cada vez mais forte. Reconhecidamente muitas funções do corpo ainda são mal-entendidas, como também os mecanismos de muitas doenças. Consequentemente, algumas áreas do conhecimento médico ainda consistem principalmente em coleções de fatos registrados, juntamente com as habilidades e intuições dos médicos que têm experiência de determinadas doenças e tratamentos, e passam essas habilidades e intuições de uma geração para outra. Em outras palavras, muito da medicina ainda está na era da regra prática e, quando novas regras práticas são descobertas, na verdade há mais incentivo para a especialização. Mas, à medida que as pesquisas médica e bioquímica apresentam explicações mais profundas sobre processos de doenças (e também de saúde) no corpo, o entendimento também aumenta. Conceitos mais gerais substituem os mais específicos à medida que são descobertos mecanismos moleculares subjacentes comuns a doenças dissimilares em partes diferentes do corpo.

Uma vez que uma doença possa ser entendida como adaptada a um quadro geral, o papel do especialista diminui. Em vez disso, os médicos que encontram uma doença não familiar ou uma rara complicação podem confiar cada vez mais em teorias explicativas. Eles podem considerar esses fatos como são conhecidos. Mas então podem ser capazes de aplicar uma teoria geral para elaborar o tratamento exigido e esperar que ele seja eficaz mesmo que nunca tenha sido utilizado antes.

Assim o problema de estar ficando mais difícil ou mais fácil entender tudo o que é entendido depende do equilíbrio geral entre estes dois efeitos opostos do aumento do conhecimento: a crescente amplitude das nossas teorias e sua crescente profundidade. A amplitude torna mais difícil; a profundidade torna mais fácil. Uma tese deste livro é que, lenta mas seguramente, a profundidade está ganhando. Em outras palavras, na verdade a proposição que recusei a acreditar quando criança é falsa e praticamente o oposto é verdadeiro. Não estamos nos afastando de um estado em que uma pessoa poderia entender tudo que é entendido, mas indo em direção a ele.

Não é que em breve entenderemos tudo. Essa é uma questão completamente diferente. Não acredito que estamos agora, ou alguma vez estaremos, perto de entender tudo o que existe. O que estou discutindo é a possibilidade de entender tudo o que é entendido. Isso depende mais da estrutura do nosso conhecimento do que do seu conteúdo. Mas é claro que a estrutura do nosso conhecimento — se for exprimível em teorias que se ajustem entre si como um todo compreensível — depende de como é a estrutura da realidade, como um todo. Se o conhecimento deve continuar seu crescimento ilimitado e se estamos, não obstante, caminhando para um estado em que uma pessoa poderia entender tudo o que é entendido, então a profundidade das nossas teorias deve continuar a crescer com velocidade suficiente para tornar isso possível. Isso poderá acontecer somente se a própria estrutura da realidade for altamente unificada, de forma que cada vez mais dessa realidade possa ser entendido à medida que cresce o nosso conhecimento. Se isso acontecer, finalmente as nossas teorias serão tão gerais, profundas e integradas umas com as outras, que se tornarão efetivamente uma teoria única de uma estrutura unificada da realidade. Essa teoria ainda não explicará todos os aspectos da realidade: isso é inatingível. Mas abarcará todas as explicações conhecidas e será aplicada a toda a estrutura da realidade até onde ela é entendida. Ao passo que todas as teorias anteriores se relacionavam com assuntos específicos, esta será uma teoria de

todos os assuntos: uma Teoria de Tudo.

Ela não será, claro, a última teoria, apenas a primeira. Em ciência assumimos como certo que mesmo as nossas melhores teorias devem ser imperfeitas e problemáticas de alguma maneira e esperamos que sejam superadas no devido tempo por teorias mais profundas e mais exatas. Esse progresso não é interrompido quando descobrimos uma teoria universal. Por exemplo, Newton nos deu a primeira teoria universal da gravidade e uma unificação das mecânicas celestial e terrestre, entre outras coisas. Mas suas teorias foram superadas pela teoria da relatividade geral de Einstein, que adicionalmente incorpora a geometria (anteriormente considerada um ramo da matemática) à física e, ao fazer isso, fornece explicações muito mais profundas, além de ser mais exata. A primeira teoria completamente universal — que chamarei de Teoria de Tudo — não irá, como todas as nossas teorias de antes e depois dela, ser perfeitamente verdadeira nem infinitamente profunda e portanto acabará sendo superada. Mas não será superada por meio de unificações com teorias sobre outros assuntos, pois já será uma teoria de todos os assuntos. No passado, alguns grandes avanços no entendimento surgiram por meio de grandes unificações. Outros, por meio de mudanças estruturais na maneira como entendíamos determinado assunto — como quando paramos de pensar na Terra como centro do universo. Depois da primeira Teoria de Tudo, não haverá mais grandes unificações. Todas as grandes descobertas subsequentes tomarão a forma de mudanças na maneira de entendermos o mundo como um todo: alterações na nossa visão de mundo. A obtenção de uma Teoria de Tudo será a última grande unificação e, ao mesmo tempo, a primeira mudança incluindo todas as classes e categorias para uma nova visão de mundo. Acredito que essa unificação e mudança estão em andamento agora. A visão de mundo associada é o tema deste livro.

Devo enfatizar imediatamente que não estou me referindo meramente à “teoria de tudo” que alguns físicos de partículas esperam descobrir em breve. A “teoria de tudo” deles seria uma teoria unificada de todas as forças básicas conhecidas da física, isto é, gravidade, eletromagnetismo e forças nucleares. Também descreveria todos os tipos existentes de partículas subatômicas, suas massas, spins, cargas elétricas e outras propriedades, e como elas interagem. Dada uma descrição suficientemente precisa do estado inicial de qualquer sistema físico isolado, ela iria, em princípio, prever o comportamento futuro do sistema. Onde o comportamento exato de um sistema era intrinsecamente imprevisível, ela descreveria todos os comportamentos possíveis e preveria

suas probabilidades. Na prática, os estados iniciais de sistemas interessantes muitas vezes não podem ser determinados com muita exatidão e em qualquer caso o cálculo da previsão seria complicado demais para ser executado em todos exceto os casos mais simples. Não obstante, essa teoria unificada de partículas e forças, juntamente com uma especificação do estado inicial do universo no Big Bang (a violenta explosão que deu início ao universo), em princípio, conteria todas as informações necessárias para prever qualquer coisa que pode ser prevista (Figura 1.1).

Porém, previsão não é explicação. O melhor que a esperada “teoria de tudo”, mesmo se combinada com uma teoria do estado inicial, faria seria fornecer somente uma minúscula faceta de uma verdadeira Teoria de Tudo. Ela pode prever tudo (em princípio), mas não se pode esperar que explique muito mais do que as teorias existentes, exceto por alguns fenômenos dominados pelas nuanças das interações subatômicas, como colisões dentro de aceleradores de partículas e a história exótica das transmutações de partículas no Big Bang. O que motiva o emprego da expressão “teoria de tudo” para um conhecimento tão estreito, embora fascinante? Acho que é uma visão equivocada da natureza da ciência, mantida com desaprovação por muitos críticos da ciência e (lamentavelmente) com aprovação por muitos cientistas, isto é, que a ciência é essencialmente reducionista. Isso significa que a ciência supostamente explica coisas de maneira redutiva — analisando-as em componentes. Por exemplo, a resistência de uma parede a ser penetrada ou demolida é explicada considerando a parede como uma vasta agregação de moléculas que interagem. As propriedades dessas moléculas são explicadas em termos de seus átomos constituintes e das interações desses átomos uns com outros, e assim por diante até as menores partículas e as forças mais básicas. Os reducionistas acham que todas as explicações científicas, e talvez todas as explicações suficientemente profundas de qualquer tipo, tomam essa forma.

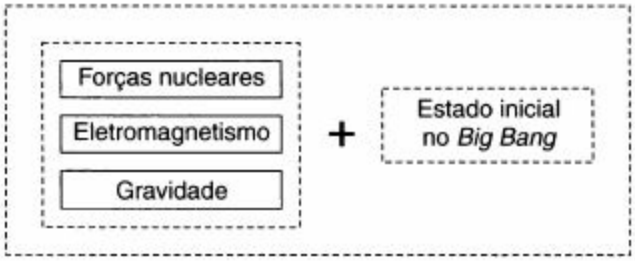


Figura 1.1 *Uma concepção inadequada da "teoria de tudo".*

O conceito reducionista leva naturalmente a uma classificação de objetos e teorias em uma hierarquia, de acordo com quão perto estão das teorias que fazem previsões de "nível mais baixo" que conhecemos. Nessa hierarquia, a lógica e a matemática formam o alicerce imóvel sobre o qual está construído o edifício da ciência. A pedra fundamental seria uma "teoria de tudo" redutiva, uma teoria universal de partículas, forças, espaço e tempo, juntamente com alguma teoria sobre qual era o estado inicial do universo. O resto da física forma os primeiros pavimentos. Astrofísica e química estão em um nível mais alto, geologia em um nível ainda mais alto e assim por diante. O edifício ramifica-se em muitas torres de assuntos com níveis cada vez mais altos, como bioquímica, biologia e genética. Empoleiradas nos cambaleantes topos estratosféricos estão matérias como teoria da evolução, economia, psicologia e ciência da computação, as quais, nesta figura, são quase inconcebivelmente derivadas.

Atualmente temos somente aproximações de uma "teoria de tudo" redutiva. Elas já podem prever leis de movimento muito exatas para partículas subatômicas individuais. A partir dessas leis, os computadores atuais podem calcular o movimento de qualquer grupo isolado de algumas partículas interagentes com algum detalhe, dado seu estado inicial. Mas até mesmo a menor porção de matéria visível a olho nu contém trilhões de átomos, cada um composto de muitas partículas subatômicas, e está continuamente interagindo com o mundo exterior; portanto é inexequível prever seu comportamento partícula por partícula. Suplementando as exatas leis do movimento com vários esquemas de aproximação, podemos prever alguns aspectos do comportamento aproximado de objetos relativamente grandes — por exemplo, a temperatura em que dado composto químico se fundirá ou ferverá. Grande parte da química básica foi reduzida a física desta maneira. Mas para ciências de nível mais alto o programa reducionista é uma

questão somente de princípio. Ninguém espera realmente deduzir muitos princípios de biologia, psicologia ou política dos da física. A razão pela qual assuntos de alto nível podem ser estudados é que sob circunstâncias especiais o comportamento enormemente complexo de vastas quantidades de partículas resolve a si mesmo em uma medida de simplicidade e compreensibilidade. Isto é chamado de emergência, simplicidade de alto nível "emerge" de complexidade de baixo nível. Fenômenos de alto nível sobre os quais existem fatos compreensíveis que não são simplesmente dedutíveis de teorias de nível inferior são chamados de fenômenos emergentes. Por exemplo, uma parede pode ser forte porque seus construtores temiam que seus inimigos tentassem forçar caminho através dela. Isto é uma explicação de alto nível da solidez da parede, não dedutível da (embora não incompatível com a) explicação de baixo nível que dei acima. "Construtores", "inimigos", "medo" e "tentar" são fenômenos emergentes. O propósito das ciências de alto nível é nos capacitar a entender fenômenos emergentes, dos quais os mais importantes são, como veremos, vida, pensamento e computação.

A propósito, o oposto do reducionismo, o holismo — o conceito que as únicas explicações legítimas são as dadas em termos de sistemas de nível mais alto — é um erro ainda maior que o reducionismo. O que os holistas esperam que façamos? Cessar nossa busca pela origem molecular das doenças? Negar que seres humanos são feitos de partículas subatômicas? Onde existem explicações redutivas, elas são tão desejáveis quanto qualquer outra explicação. Onde ciências completas são redutíveis a ciências de nível mais baixo, cabe a nós, como cientistas, encontrar essas reduções assim como descobrir qualquer outro conhecimento.

Um reducionista acha que a ciência trata de decompor coisas em componentes. Um instrumentalista acha que trata de prever coisas. Para qualquer um deles a existência de ciências de alto nível é meramente uma questão de conveniência. A complexidade nos impede de usar a física fundamental para fazer previsões de alto nível, portanto, em vez disso adivinhamos o que seriam essas previsões se pudéssemos fazê-las — a emergência nos dá oportunidade de fazer isso com sucesso — e supostamente é disso que tratam as ciências de nível mais alto. Assim, para os reducionistas e instrumentalistas, que negligenciam tanto a estrutura real quanto o propósito real do conhecimento científico, a base da hierarquia de previsões da física é, por definição, a "teoria de tudo". Mas para todos os demais o conhecimento científico consiste em explicações e a estrutura da explicação

científica não reflete a hierarquia reducionista. Há explicações em todos os níveis da hierarquia. Muitas delas são autônomas, referindo-se somente a conceitos daquele nível específico (por exemplo, “o urso comeu o mel porque estava com fome”). Muitas envolvem deduções na direção oposta à da explicação redutiva. Isto é, não explicam coisas decompondo-as em coisas menores e mais simples, mas considerando-as componentes de coisas maiores e mais complexas — sobre as quais nós, não obstante, temos teorias explicativas. Por exemplo, pense em determinado átomo de cobre na ponta do nariz da estátua de Sir Winston Churchill que está na Praça do Parlamento em Londres. Deixe-me tentar explicar por que esse átomo de cobre está lá. É porque Churchill foi primeiro-ministro na Câmara dos Comuns que está nas vizinhanças; porque suas ideias e liderança contribuíram para a vitória dos Aliados na Segunda Guerra Mundial; porque é costume honrar tais pessoas fazendo estátuas delas; porque o bronze, como material tradicional para essas estátuas, contém cobre, e assim por diante. Desta forma explicamos uma observação física de baixo nível — a presença de um átomo de cobre em determinado local — por meio de teorias de nível extremamente alto sobre fenômenos emergentes, como ideias, liderança, guerra e tradição.

Não há razão para existir, mesmo em princípio, qualquer explicação de nível mais baixo da presença desse átomo de cobre além da que dei. Presumivelmente uma “teoria de tudo” redutiva faria em princípio uma previsão de baixo nível da probabilidade de aquela estátua existir, dada a condição do (digamos) sistema solar em alguma data anterior. Também em princípio descreveria como a estátua provavelmente chegou lá. Mas essas descrições e previsões (altamente inexequíveis, é claro) nada explicariam. Elas meramente descreveriam a trajetória que cada átomo do cobre seguiu a partir da mina de cobre, através da fundição e do estúdio do escultor e assim por diante. poderiam também declarar como essas trajetórias foram influenciadas por forças exercidas por átomos circunvizinhos, como os que compõem o corpo dos mineiros e do escultor, e então prever a existência e a forma da estátua. Na verdade, tal previsão teria de se referir a átomos de todo o planeta, empenhados no movimento complexo que chamamos de Segunda Guerra Mundial, entre outras coisas. Mas mesmo se você tivesse a capacidade super-humana de seguir essas longas previsões sobre o fato de o átomo de cobre estar lá, ainda não seria capaz de dizer: “Ah, sim, agora eu entendo por que ele está lá”. Você meramente saberia que sua chegada lá dessa forma foi inevitável (ou provável, ou seja o que for), dadas as

configurações iniciais de todos os átomos e as leis da física. Se você quisesse entender por que, ainda não teria outra opção além de dar mais um passo. Teria de investigar do que se tratava aquela configuração de átomos e as trajetórias que lhes deram a tendência de depositar um átomo de cobre naquele local. Seguir essa investigação seria uma tarefa criativa, como sempre é descobrir novas explicações. Você teria de descobrir que certas configurações atômicas sustentam fenômenos emergentes, como liderança e guerra, que são relacionados uns com os outros por teorias explicativas de alto nível. Somente quando você conhecesse essas teorias poderia entender completamente porque aquele átomo de cobre está onde está.

Na visão de mundo reducionista, as leis que governam as interações entre partículas subatômicas são de máxima importância, pois constituem a base da hierarquia de todo o conhecimento. Mas na verdadeira estrutura do conhecimento científico e na estrutura do nosso conhecimento em geral, tais leis têm um papel muito mais humilde.

Qual é esse papel? Parece-me que nenhum dos candidatos a uma "teoria de tudo" até agora contemplados contém muito do que é novo como explicação. Talvez a abordagem mais inovadora do ponto de vista explicativo seja a teoria das supercordas, na qual objetos estendidos, "cordas", em vez de partículas semelhantes a pontos, são os blocos constituintes elementares da matéria. Mas nenhuma abordagem existente oferece um modo inteiramente novo de explicações — novo no sentido da explicação de Einstein das forças gravitacionais em termos de espaço e tempo curvos. Na verdade, espera-se que a "teoria de tudo" herde virtualmente toda a sua estrutura explicativa — seus conceitos físicos, sua linguagem, seu formalismo matemático e a forma das suas explicações — das teorias existentes sobre eletromagnetismo, forças nucleares e gravidade. Portanto, podemos procurar nessa estrutura subjacente, que já conhecemos a partir de teorias existentes, a contribuição da física fundamental para nosso entendimento geral.

Existem duas teorias em física que são consideravelmente mais profundas que todas as outras. A primeira é a teoria da relatividade geral, que afirmei ser a nossa melhor teoria de espaço, tempo e gravidade. A segunda, a teoria quântica, é ainda mais profunda. Essas duas teorias (e não qualquer teoria existente ou atualmente conjeturada de partículas subatômicas) fornecem o quadro explicativo e formal detalhado no qual são expressas todas as outras teorias da física moderna, e elas contêm princípios físicos dominantes aos quais todas as outras teorias se conformam. Uma unificação

das teorias da relatividade geral e quântica — para resultar em uma teoria quântica da gravidade — tem sido a principal busca dos físicos teóricos durante várias décadas, e teria de fazer parte de qualquer teoria de tudo no sentido restrito ou amplo do termo. Como veremos no próximo capítulo, a teoria quântica, como a relatividade, oferece um revolucionário modo novo de explicação da realidade física. O motivo para a teoria quântica ser a mais profunda das duas está mais fora do que dentro da física, pois suas ramificações são muito amplas, estendendo-se para muito além da física — e até além da própria ciência da maneira como é concebida. A teoria quântica é um dos que chamarei de quatro elementos principais dos quais é composto o nosso entendimento atual da estrutura da realidade.

Antes de dizer o que são os outros três elementos, devo mencionar outra maneira pela qual o reducionismo representa erroneamente a estrutura do conhecimento científico. Não somente ele assume que explicação sempre consiste em decompor um sistema em sistemas menores e mais simples, mas também que toda explicação é sobre eventos posteriores em termos de eventos anteriores; em outras palavras, que a única maneira de explicar alguma coisa é estabelecendo suas causas. E isso pressupõe que, quanto mais antigos os eventos em termos dos quais explicamos alguma coisa, melhor a explicação, de forma que no final as melhores explicações de todas são dadas em termos do estado inicial do universo.

Uma "teoria de tudo" que exclua uma especificação do estado inicial do universo não é uma descrição completa de realidade física porque fornece somente leis de movimento; e leis de movimento por si mesmas fazem apenas previsões condicionais. Isto é, elas nunca expressam categoricamente o que acontece, mas apenas o que acontecerá em um tempo, dado o que aconteceu em outro. Somente se for fornecida uma especificação completa do estado inicial, uma descrição completa da realidade física poderia, em princípio, ser deduzida. As teorias cosmológicas atuais não oferecem uma especificação completa do estado inicial, mesmo em princípio, mas dizem que o universo era inicialmente muito pequeno, muito quente e muito uniforme em estrutura. Também sabemos que não pode ter sido perfeitamente uniforme porque isso seria incompatível, de acordo com a teoria, com a distribuição das galáxias que observamos no céu hoje. As variações iniciais de densidade, "granulosidade", seriam grandemente acentuadas por agrupamentos gravitacionais (isto é, regiões relativamente densas teriam atraído mais matéria e se tornado mais densas), portanto elas só precisavam

ser muito leves inicialmente. Mas, embora tenham sido leves, são da maior importância em qualquer descrição reducionista da realidade, porque quase tudo o que vemos acontecer ao redor, da distribuição das estrelas e galáxias no céu à aparência das estátuas de bronze no planeta Terra, é, do ponto de vista da física fundamental, uma consequência dessas variações. Se a nossa descrição reducionista deve cobrir qualquer coisa além das características mais toscas do universo observado, precisamos de uma teoria que especifique esses importantes desvios iniciais da uniformidade.

Deixe-me tentar expor esse requisito sem a influência reducionista. As leis do movimento para qualquer sistema físico só fazem previsões condicionais e, portanto, são compatíveis com muitas histórias possíveis desse sistema. (Essa questão é independente das limitações da previsibilidade que são impostas pela teoria quântica, que discutirei no próximo capítulo.) Por exemplo, as leis do movimento que governam uma bala disparada por um canhão são compatíveis com muitas trajetórias possíveis, uma para cada direção e elevação possíveis em que o canhão poderia estar apontando ao ser disparado (Figura 1.2). Matematicamente, as leis do movimento podem ser expressas como um conjunto de equações denominadas equações de movimento. Elas têm muitas soluções diferentes, cada uma descrevendo uma trajetória possível. Para especificar qual solução descreve a trajetória real, devemos fornecer dados suplementares — alguns dados sobre o que acontece realmente. Uma maneira de fazer isso é especificar o estado inicial, neste caso a direção em que o canhão aponta. Mas há outras maneiras. Por exemplo, poderíamos também especificar o estado final — a posição e direção do movimento da bala do canhão no momento do impacto. Ou poderíamos especificar a posição do ponto mais alto da trajetória. Não importa quais dados suplementares fornecemos, desde que eles selecionem determinada solução das equações de movimento. A combinação de quaisquer desses dados suplementares com as leis do movimento resultam em uma teoria que descreve tudo o que acontece com a bala de canhão entre o disparo e o impacto.

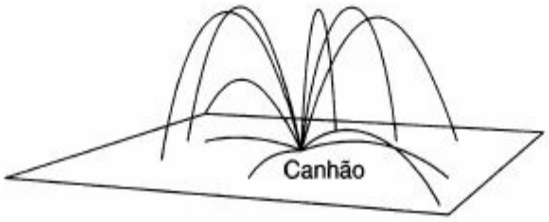


Figura 1.2 *Algumas trajetórias possíveis de uma bala disparada por um canhão. Cada trajetória é compatível com as leis do movimento, mas apenas uma delas é a trajetória em determinada ocasião.*

De modo semelhante, as leis do movimento para a realidade física como um todo teriam muitas soluções, cada uma correspondendo a uma história distinta. Para completar a descrição, devemos especificar qual é a história que realmente ocorreu, fornecendo dados suplementares suficientes para produzir uma das muitas soluções das equações de movimento. Pelo menos em modelos cosmológicos simples, uma maneira de fornecer esses dados é especificar o estado inicial do universo. Mas de modo alternativo, poderíamos especificar o estado final ou o estado em qualquer outro momento; ou poderíamos dar algumas informações sobre o estado inicial, algumas sobre o estado final e algumas sobre os estados intermediários. Em geral, a combinação de dados suplementares suficientes de qualquer tipo com as leis do movimento resultaria em uma descrição completa, em princípio, da realidade física.

Para a bala de canhão, uma vez que tenhamos especificado, digamos, o estado final, calcular o estado inicial é uma operação direta e vice-versa, portanto não existe diferença prática entre métodos diferentes de especificação dos dados suplementares. Mas para o universo a maioria desses cálculos é intratável. Eu disse que inferimos a existência de “granulosidade” nas condições iniciais a partir de observações de “granulosidades” hoje. Mas isso é excepcional: a maior parte do nosso conhecimento dos dados suplementares — do que acontece especificamente — está na forma de teorias de alto nível sobre fenômenos emergentes e, portanto, é, por definição, não exprimível praticamente na forma de declarações sobre o estado inicial. Por exemplo, na maioria das soluções das equações de movimento, o estado inicial do universo não tem as propriedades adequadas para que a vida evolua a partir dele. Portanto, o nosso conhecimento de que a vida evoluiu é uma parte significativa dos dados suplementares. Podemos

nunca saber que, especificamente, essa restrição implica a estrutura detalhada do Big-bang, mas podemos extrair conclusões dela diretamente. Por exemplo, a mais antiga estimativa precisa da idade da Terra foi feita com base na teoria biológica da evolução, contradizendo a melhor física da época. Somente um preconceito reducionista poderia nos fazer sentir que isso era de alguma maneira uma forma menos válida de raciocínio, ou que em geral é mais "fundamental" teorizar sobre o estado inicial do que sobre características emergentes da realidade.

Até mesmo no domínio da física fundamental, a ideia de que teorias do estado inicial contêm nosso conhecimento mais profundo é uma concepção seriamente equivocada. Um motivo é que ela exclui logicamente a possibilidade de explicar o próprio estado inicial — por que o estado inicial era o que era — mas na verdade temos explicações de muitos aspectos do estado inicial. E mais geralmente, nenhuma teoria do tempo pode explicá-lo em termos de qualquer coisa "anterior"; no entanto, temos explicações profundas, a partir da relatividade geral e ainda mais da teoria quântica, sobre a natureza do tempo (veja o Capítulo 11).

Assim, o caráter de muitas das nossas descrições, previsões e explicações da realidade não tem semelhança com a figura "estado inicial mais leis do movimento" à qual leva o reducionismo. Não há motivo para considerar as teorias de alto nível como "cidadãos de segunda classe". Nossas teorias da física subatômica, e até a teoria quântica ou da relatividade, não são de maneira alguma privilegiadas em relação às teorias sobre propriedades emergentes. Nenhuma dessas áreas de conhecimento pode incluir todas as outras. Cada uma delas tem implicações lógicas para as outras, mas nem todas as implicações podem ser declaradas, pois são propriedades emergentes dos domínios das outras teorias. Na verdade, as próprias expressões "alto nível" e "baixo nível" são designações incorretas. As leis da biologia, digamos, são de alto nível, consequências emergentes das leis da física. Mas logicamente algumas das leis da física por sua vez são consequências "emergentes" das leis da biologia. Pode até ser que, entre elas, as leis que governam fenômenos biológicos e outros fenômenos emergentes determinassem inteiramente as leis da física fundamental. Mas em qualquer caso, quando duas teorias são logicamente relacionadas, a lógica não dita qual delas devemos considerar como determinando, total ou parcialmente, a outra. Isso depende dos relacionamentos explicativos entre as teorias. As teorias verdadeiramente privilegiadas não são as que se referem a qualquer

escala de tamanho ou complexidade específica, nem as situadas em qualquer nível determinado da hierarquia de previsões — mas as que contêm as explicações mais profundas. A estrutura da realidade não consiste apenas em ingredientes reducionistas, como espaço, tempo e partículas subatômicas, mas também em vida, pensamento, computação e as outras coisas às quais essas explicações se referem. O que faz uma teoria mais fundamental e menos derivativa não é sua proximidade com a suposta base de previsões da física, mas sua proximidade com nossas mais profundas teorias explicativas.

A teoria quântica é, como já disse, uma dessas teorias. Mas os outros três elementos principais da explicação por meio dos quais procuramos entender a estrutura da realidade são todos de "alto nível" do ponto de vista da física quântica. Eles são a teoria da evolução (primariamente a evolução dos organismos vivos), a epistemologia (a teoria do conhecimento) e a teoria da computação (sobre computadores e o que eles podem e não podem, em princípio, calcular). Como mostrarei, foram descobertas conexões tão profundas e diferentes entre os princípios básicos desses quatro assuntos aparentemente independentes, que se tornou impossível alcançar nosso melhor entendimento de qualquer um deles sem também entender os outros três. Os quatro tomados juntos formam uma estrutura explicativa coerente que tem alcance tão longo e veio a abarcar tanto do nosso entendimento do mundo que, na minha visão, já pode ser apropriadamente chamada de a primeira verdadeira Teoria de Tudo. Assim, chegamos a um momento significativo na história das ideias — o momento em que a extensão do nosso entendimento começa a ser totalmente universal. Até agora todo o nosso entendimento foi sobre algum aspecto da realidade, não típico do todo. No futuro será sobre uma concepção unificada da realidade: todas as explicações serão entendidas contra o pano de fundo da universalidade, e cada ideia nova automaticamente tenderá a iluminar não apenas um assunto específico, mas, em graus variados, todos os assuntos. Os dividendos do entendimento que finalmente colheremos dessa última grande unificação podem ultrapassar em muito aqueles produzidos por qualquer outra anterior. Pois veremos que não é somente a física que está sendo unificada e explicada aqui, e não apenas a ciência, mas também potencialmente os distantes limites da filosofia, lógica e matemática, ética, política e estética; talvez tudo o que atualmente entendermos e provavelmente muito do que ainda não entendermos.

Então, que conclusão eu apresentaria ao meu eu mais jovem, que rejeitou a proposição de que o crescimento do conhecimento estava tornando

o mundo cada vez menos compreensível? Eu concordaria com ele, embora agora pense que a questão importante não é realmente se o que a nossa espécie entende pode ser entendido por um de seus membros. É se a própria estrutura da realidade é verdadeiramente unificada e compreensível. Existem todos os motivos para acreditar que sim. Como uma criança, eu apenas sabia disso; agora posso explicar.

Terminologia Empregada no Capítulo

Epistemologia — O estudo da natureza do conhecimento e dos processos que o criam.

Explicação (aproximadamente) — Uma declaração sobre a natureza e a causa das coisas.

Instrumentalismo — O ponto de vista de que o propósito de uma teoria científica é prever os resultados dos experimentos.

Positivismo — Uma forma extrema de instrumentalismo que sustenta que todas as declarações, exceto as que descrevem ou preveem observações, não têm significado. (Essa visão é por si mesma sem significado, de acordo com seu próprio critério.)

Redutivo — Uma explicação redutiva é a que funciona pela decomposição das coisas em componentes de nível mais baixo.

Reducionismo — O ponto de vista de que as explicações científicas são inerentemente redutivas.

Holismo — O conceito de que as únicas explicações legítimas são dadas em termos de sistemas de alto nível; o oposto do reducionismo.

Emergência — Um fenômeno emergente (como a vida, o pensamento ou a computação) é um sobre o qual existem fatos ou explicações compreensíveis que não são simplesmente dedutíveis de teorias de baixo nível, mas que podem ser explicáveis ou previsíveis por teorias de nível mais alto que se referem diretamente a esse fenômeno.

Resumo

O conhecimento científico, como qualquer outro conhecimento humano, consiste primariamente em explicações. Meros fatos podem ser consultados e previsões são importantes somente por conduzir testes experimentais cruciais para discriminar entre teorias científicas rivais que já passaram no teste de ser boas explicações. À medida que novas teorias superam as velhas, nosso conhecimento se torna mais amplo (à medida que novos assuntos são criados) e mais profundo (à medida que nossas teorias fundamentais explicam mais e se tornam mais gerais). A profundidade está ganhando. Assim, não nos

estamos afastando do estado em que uma pessoa poderia entender tudo o que é entendido, mas caminhando para ele. Nossa teorias mais profundas estão se tornando tão integradas umas com as outras que podem ser entendidas somente em conjunto, como uma única teoria de uma estrutura unificada da realidade. Essa Teoria de Tudo tem uma abrangência muito mais ampla do que a "teoria de tudo" que os físicos de partículas elementares estão buscando, porque a estrutura da realidade não consiste somente em ingredientes reducionistas, como espaço, tempo e partículas subatômicas, mas também, por exemplo, em vida, pensamento e computação. Os quatro elementos principais da explicação que podem constituir a primeira.

Teoria de Tudo são:

física quântica	Capítulos 2, 9, 11, 12, 13, 14
epistemologia	Capítulos 3, 4, 7, 10, 13, 14
a teoria da computação	Capítulos 5, 6, 9, 10, 13, 14
a teoria da evolução	Capítulos 8, 13, 14

O próximo capítulo aborda o primeiro e mais importante dos quatro elementos, a física quântica.

2 Sombras

Não existe porta mais aberta nem melhor pela qual vocês podem entrar no estudo da filosofia natural do que considerar os fenômenos físicos de uma vela.

Michael Faraday (Um Curso de Seis Conferências sobre a História Química de uma Vela)

Em suas populares preleções sobre ciência no Instituto Real, Michael Faraday costumava instar sua plateia a aprender sobre o mundo estudando o que acontece quando uma vela queima. Mas no lugar da vela usarei uma lanterna elétrica. Isto é totalmente adequado, pois grande parte da tecnologia da lanterna baseia-se nas descobertas de Faraday.

Vou descrever alguns experimentos que demonstram fenômenos pertencentes ao âmago da física quântica. Experimentos desse tipo, com muitas variações e refinamentos, têm sido o arroz-com-feijão da óptica quântica durante muitos anos. Não há controvérsia sobre os resultados, embora mesmo agora alguns deles sejam difíceis de acreditar. Os experimentos básicos são extraordinariamente simples. Não exigem instrumentos científicos especializados nem qualquer grande conhecimento de matemática ou física — essencialmente, eles envolvem nada mais do que projetar sombras. Mas os padrões de luz e sombra que uma lanterna comum pode projetar são muito estranhos. Quando considerados cuidadosamente, têm ramificações extraordinárias. Explicá-los exige não apenas novas leis físicas, mas um novo nível de descrição e explicação que vai além do que era anteriormente considerado o escopo da ciência. Primeiramente revela a existência de universos paralelos. Como é possível? Que padrões concebíveis de sombras poderiam ter implicações como essa?

Imagine uma lanterna elétrica acesa em uma sala escura. A luz emana do filamento da lâmpada da lanterna e preenche parte de um cone. Para não complicar o experimento com luz refletida, as paredes da sala devem ser totalmente absorventes, pretas e foscas. Alternativamente, como estamos apenas imaginando esses experimentos, poderíamos pensar em uma sala de tamanho astronômico, de forma que não haveria tempo para qualquer luz alcançar as paredes e voltar antes do término do experimento. A Figura 2.1 ilustra a situação, mas é um tanto ilusória: se estivéssemos observando a lanterna de lado, não poderíamos vê-la nem, é claro, sua luz. A invisibilidade

é uma das propriedades mais diretas da luz. Nós só vemos a luz se ela entra em nossos olhos (embora habitualmente falemos de ver o objeto na nossa linha de visão que afetou esta luz por último).

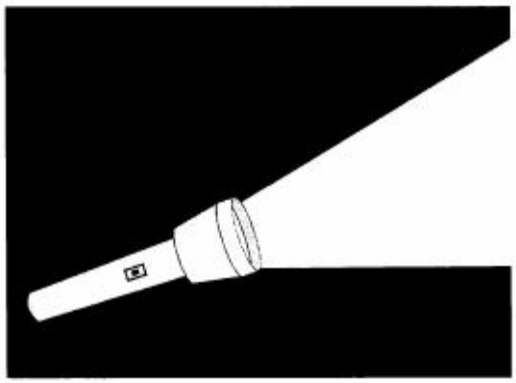


Figura 2.1 *Luz de uma lanterna elétrica.*

Não podemos ver a luz que está apenas passando. Se houvesse um objeto reflexivo no feixe ou mesmo um pouco de poeira ou gotículas de água para espalhar a luz, poderíamos ver onde ela estava. Mas não há nada no feixe e estamos observando de fora dele, portanto sua luz não nos atinge. Uma representação precisa do que veríamos seria uma figura completamente negra. Se houvesse uma segunda fonte de luz, poderíamos ver a lanterna, mas ainda não veríamos a sua luz. Feixes de luz, mesmo da luz mais intensa que podemos gerar (com laseres), passam uns através dos outros como se não houvesse nada lá.

A Figura 2.1 mostra que a luz é mais brilhante perto da lanterna e fica mais fraca mais longe, à medida que o feixe se espalha iluminando uma área maior. Para um observador situado dentro do feixe e afastando-se da lanterna, o refletor pareceria cada vez menor e, quando fosse visto apenas como um único ponto, cada vez mais fraco. Seria mesmo? Pode a luz realmente ser espalhada ficando cada vez mais tênue sem chegar a um limite? A resposta é não. A uma distância de aproximadamente dez mil quilômetros da lanterna, sua luz seria tão fraca para o olho humano que o observador nada veria. Isto é, um observador humano nada veria, mas e um animal com visão mais sensível? Os olhos das rãs são muitas vezes mais sensíveis do que os olhos humanos — o suficiente para fazer grande diferença neste experimento. Se o observador fosse uma rã e continuasse se afastando da lanterna, o momento em que perderia completamente a visão da lanterna nunca chegaria. Em vez

disso, a rã veria a lanterna começando a tremeluzir. As tremulações viriam em intervalos irregulares, que se tornariam maiores à medida que a rã se afastasse para mais longe. Mas o brilho de cada tremulação não diminuiria. A uma distância de cem milhões de quilômetros da lanterna, a rã veria em média somente uma cintilação de luz por dia, mas que seria tão brilhante quanto qualquer outra observada a qualquer distância.

As rãs não podem nos dizer o que veem Portanto, nos experimentos reais usamos fotomultiplicadores (detectores de luz ainda mais sensíveis do que os olhos das rãs) e diluímos a luz passando-a por filtros escuros, em vez de observá-la de cem milhões de quilômetros de distância. Mas o princípio é o mesmo e também o resultado: nem escuridão aparente nem enfraquecimento uniforme, mas tremulações, com as cintilações individuais igualmente brilhantes, não importando quão escuro seja o filtro que usemos. Essas tremulações indicam que há um limite para quanto a luz pode ficar fraca quando espalhada igualmente. Emprestando a terminologia dos ourives, poderíamos dizer que a luz não é infinitamente “maleável”. Da mesma forma que o ouro, uma pequena quantidade de luz pode ser espalhada uniformemente sobre uma área muito grande, mas finalmente, se tentarmos espalhá-la ainda mais, ela ficará granulada. Mesmo se átomos de ouro pudessem de alguma forma ser impedidos de se agrupar, há um ponto além do qual eles não podem ser subdivididos sem que deixem de ser ouro. Portanto, a única maneira de tornar ainda mais fina uma folha de ouro com espessura de um átomo é afastar os átomos ainda mais, com espaços vazios entre eles. Quando estão suficientemente separados, fica enganoso pensar neles como formando uma folha contínua. Por exemplo, se cada átomo de ouro estivesse, em média, a vários centímetros do seu vizinho mais próximo, poderíamos passar a mão através da “folha” sem tocar em ouro nenhum. De modo semelhante, existe um derradeiro grânulo ou “átomo” de luz, o fóton. Cada cintilação vista pela rã é causada por um fóton que atinge a retina do seu olho. O que acontece quando um feixe de luz fica mais fraco não é que os próprios fótons ficam mais fracos, mas ficam separados por distâncias maiores, com espaço vazio entre eles (Figura 2.2). Quando o feixe está muito fraco, pode ser enganoso chamá-lo de “feixe”, pois ele não é contínuo. Durante os períodos em que a rã não vê nada, não é porque a luz que entra em seu olho é fraca demais para afetar sua retina, mas porque nenhuma luz entrou em seu olho.

Essa propriedade de aparecer somente em agrupamentos de tamanho

discreto é denominada quantização. Um grânulo individual, como um fóton, é chamado de quantum (plural quanta). A teoria quântica foi assim denominada por causa dessa propriedade, que ela atribui a todas as quantidades físicas mensuráveis — não apenas a coisas como a quantidade de luz ou a massa de ouro, que são quantizadas porque as entidades envolvidas, embora aparentemente contínuas, são realmente formadas de partículas. Mesmo para quantidades como distância (digamos, entre dois átomos), a noção de um intervalo contínuo de valores possíveis acaba sendo uma idealização.

Figura 2.2 *As rãs podem ver fótons individuais.*

Não existem quantidades contínuas mensuráveis em física. Há muitos efeitos novos na física quântica e diante disso, a quantização é um dos mais tratáveis, como veremos. No entanto, de certo modo ela é a chave para todos os outros, pois se tudo é quantizado, como uma quantidade qualquer muda de um valor para outro? Como um objeto qualquer vai de um lugar para outro se não existe um intervalo contínuo de lugares intermediários para que ele se desloque? Explicarei isso no Capítulo 9, mas deixe-me pôr de lado essa questão por enquanto e voltar às vizinhanças da lanterna, onde o feixe parece contínuo porque a cada segundo ele despeja cerca de 1014 (cem trilhões) de fótons em um olho que olhe para ele.

A fronteira entre a luz e a sombra é perfeitamente definida ou existe uma área cinzenta? Normalmente há uma área cinzenta razoavelmente ampla e um motivo para isso é mostrado na Figura 2.3. Há uma região escura (chamada umbra) que a luz do filamento não pode alcançar. Há uma região brilhante que pode receber luz de qualquer parte do filamento. E, como o filamento não é um ponto geométrico, mas tem certo tamanho, há também uma penumbra entre as regiões brilhante e escura: uma região que pode receber luz de algumas partes do filamento mas não de outras. Se observarmos de dentro da

penumbra, poderemos ver somente parte do filamento e a iluminação será menor ali do que na região brilhante totalmente iluminada.

No entanto, o tamanho do filamento não é a única razão pela qual a luz da lanterna cria penumbras. A luz é afetada de várias outras maneiras, pelo refletor colocado atrás da lâmpada, pelo vidro da frente da lanterna, por várias emendas e imperfeições, e assim por diante. Portanto, esperamos um padrão de luz e sombra muito complicado de uma lanterna verdadeira, porque a própria lanterna é muito complicada. Mas as propriedades incidentais das lanternas não são o assunto desses experimentos. Por trás da nossa questão sobre a luz da lanterna, há uma indagação mais fundamental sobre a luz em geral: existe, em princípio, algum limite para a nitidez de uma sombra (em outras palavras, quão estreita pode ser a penumbra)? Por exemplo, se a lanterna fosse feita de um material perfeitamente negro (não reflexivo) e se usássemos filamentos cada vez menores, poderíamos tornar a penumbra cada vez mais estreita, sem chegar a um limite?

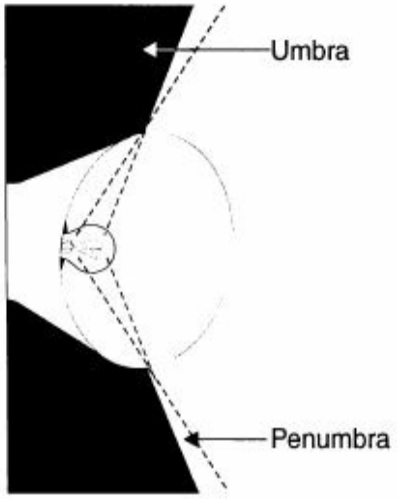


Figura 2.3 *A umbra e a penumbra de uma sombra.*

A Figura 2.3 faz parecer que poderíamos. Se o filamento não tivesse tamanho não haveria penumbra, mas ao desenhar a Figura 2.3 fiz uma suposição sobre a luz, isto é, que ela viaja somente em linha reta. Da experiência de todos os dias sabemos que é assim, pois não podemos ver ao redor de esquinas. Mas experimentos cuidadosos mostram que a luz nem sempre viaja em linha reta. Sob certas circunstâncias ela se curva.

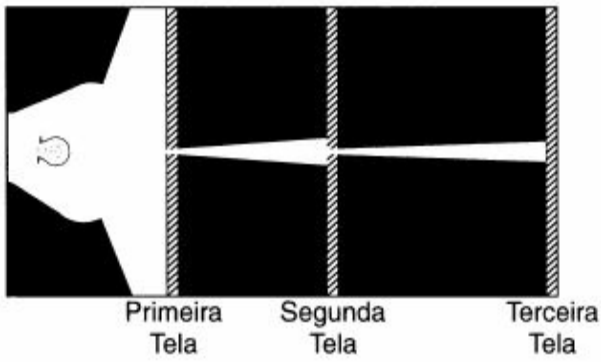


Figura 2.4 *Criando um feixe estreito passando a luz através de dois orifícios sucessivos.*

Isso é difícil de demonstrar apenas com uma lanterna, porque é difícil fazer filamentos muito pequenos e superfícies muito negras. Essas dificuldades práticas mascaram os limites que a física fundamental impõe sobre a nitidez das sombras. Felizmente, a curvatura da luz pode também ser demonstrada de maneira diferente. Suponha que a luz da lanterna passe através de dois pequenos orifícios em sucessão feitos em telas opacas, como é mostrado na Figura 2.4, e que a luz emergente atinja uma terceira tela. Nossa pergunta agora é esta: se o experimento for repetido com orifícios cada vez menores e com separação cada vez maior entre a primeira e a segunda telas, podemos trazer a umbra — a região de escuridão total — cada vez mais perto, sem limite, da linha reta que passa pelo centro dos dois orifícios? A região iluminada entre a segunda e a terceira telas pode ser confinada a um cone arbitrariamente estreito? Na terminologia do ourives, estamos perguntando algo como “quão ‘dúctil’ é a luz” — em quão estreito fio pode se transformar a luz? O ouro pode ser moldado em fios de um décimo milésimo de milímetro de espessura.

Acontece que a luz não é tão dúctil quanto o ouro! Muito antes de os orifícios ficarem com um décimo milésimo de milímetro, na verdade mesmo com orifícios tão grandes quanto um milímetro de diâmetro, a luz começa a se rebelar de maneira notável. Em vez de passar através dos orifícios em linha reta, ela se recusa a ser confinada e se espalha depois de cada orifício. E na medida em que se espalha, se “desfia”. Quanto menor o orifício, mais a luz se dispersa do seu caminho em linha reta. Aparecem padrões intrincados de luz e sombra. Não vemos mais apenas uma região brilhante e uma escura na terceira tela, com uma penumbra entre elas; em vez disso, vemos anéis concêntricos de espessura e brilho variáveis. Também há cor, porque a luz branca consiste em uma mistura de fótons de várias cores e cada cor espalha-se e desfia em padrões ligeiramente diferentes. A Figura 2.5 mostra um

padrão típico, que poderia ser formado na terceira tela por luz branca que passasse através de orifícios das duas primeiras. Lembre-se, não há nada acontecendo aqui além da projeção de uma sombra. A Figura 2.5 é apenas a sombra que seria projetada pela segunda tela da Figura 2.4. Se a luz caminhasse somente em linha reta, haveria apenas um pequeno ponto branco (muito menor do que a mancha central brilhante da Figura 2.5), cercado de uma penumbra muito estreita. Fora disso haveria pura sombra — escuridão total.

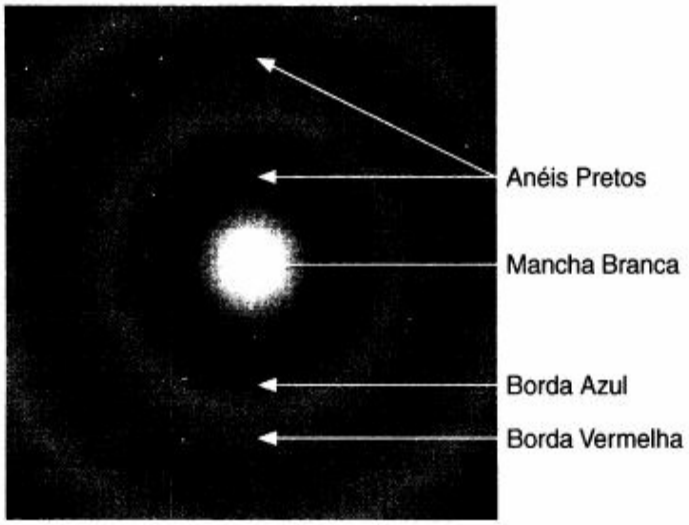


Figura 2.5 *O padrão de luz e sombra formado por luz branca depois de passar por um pequeno orifício circular.*

Embora pareça enigmático que os raios de luz devam se curvar quando passam através de pequenos orifícios, não é, eu acho, algo fundamentalmente perturbador.

De qualquer forma, o que importa para os nossos objetivos atuais é que a luz se curva. Isso significa que as sombras em geral não precisam se parecer com as silhuetas dos objetos que as projetam. E mais, isso não é apenas uma questão de obscurecimento causado por penumbras. Resulta que um obstáculo com um padrão intrincado de orifícios pode projetar sombras de um padrão inteiramente diferente.

Figura 2.6 *A sombra projetada por uma barreira que contém duas fendas retas e paralelas.*

A Figura 2.6 mostra, com tamanho real aproximado, uma parte do

padrão de sombras projetado a três metros de um par de fendas retas e paralelas feitas em uma barreira opaca. As fendas são separadas por um quinto de milímetro e iluminadas por um feixe de raios paralelos de luz vermelha pura de um laser situado no outro lado da barreira. Por que luz de laser e não de lanterna? Somente porque a forma precisa de uma sombra depende também da cor da luz com que é projetada; a luz branca, como a produzida por uma lanterna, contém uma mistura de todas as cores visíveis, portanto pode projetar sombras com orlas multicoloridas. Assim, nos experimentos sobre formas precisas das sombras, é melhor usar luz de uma única cor. Poderíamos colocar um filtro de cor (como uma placa de vidro colorido) na frente da lanterna, de forma que só passaria a luz da cor da placa. Isso ajudaria, mas filtros não são muito discriminadores. Um método melhor é utilizar luz de laser, pois os laseres podem ser ajustados bem precisamente para emitir luz da cor que escolhemos, com quase nenhuma outra cor presente.

Se a luz viajasse em linha reta, o padrão da Figura 2.6 consistiria simplesmente em um par de faixas brilhantes separadas por um quinto de milímetro (muito perto para ser distinguidas nesta escala), com bordas nítidas e o resto da tela na escuridão. Mas na verdade a luz se curva de tal maneira que cria muitas faixas brilhantes e escuras, e sem bordas nítidas. Se as fendas forem movidas para o lado, desde que permaneçam dentro do feixe de laser, o padrão também se deslocará da mesma distância. A esse respeito, ele se comporta exatamente como uma sombra em grande escala. Agora, que tipo de sombra será projetada se cortarmos na barreira um segundo par idêntico de fendas, intercalado com o par existente de forma que tenhamos quatro fendas a intervalos de um décimo de milímetro? Poderíamos esperar que o padrão parecesse quase exatamente igual ao da Figura 2.6. Afinal, o primeiro par de fendas, por si mesmo, projeta as sombras da Figura 2.6 e, como eu disse, o segundo par projetaria o mesmo padrão, deslocado cerca de um décimo de milímetro para o lado — quase no mesmo lugar. Nós até sabemos que os feixes de luz normalmente se cruzam sem ser afetados. Portanto, os dois pares de fendas juntos deveriam produzir essencialmente o mesmo padrão, embora duas vezes mais brilhante e ligeiramente mais borrado.

Na verdade, porém, o que acontece não é nada disso. A verdadeira sombra de uma barreira com quatro fendas retas e paralelas é mostrada na Figura 2.7(a). Para comparação, repeti abaixo dela a ilustração do padrão de duas fendas (Figura 2.7(b)). Claramente, a sombra de quatro fendas não é

uma combinação das duas fendas levemente deslocadas, mas tem um padrão novo e mais complicado. Nesse padrão há lugares, como o ponto marcado com X, que são escuros no padrão de quatro fendas, mas brilhantes no de duas. Esses lugares eram brilhantes quando havia duas fendas na barreira, mas ficaram escuros quando cortamos um segundo par de fendas para a luz atravessar. A abertura dessas fendas interferiu na luz que antes chegava em X.

Portanto, adicionar mais duas fontes de luz escurece o ponto X; removê-las o ilumina outra vez. Como? Poderíamos imaginar dois fótons indo em direção a X e ricocheteando um no outro como bolas de bilhar. Cada fóton teria atingido X, mas os dois juntos interferem entre si de forma que ambos acabam em outro lugar. Mais adiante mostrarei que esta explicação não pode ser verdadeira. Não obstante, sua ideia básica é inevitável: alguma coisa deve ter saído daquele segundo par de fendas para impedir que a luz do primeiro par atinja X. Mas o quê? Podemos descobrir com a ajuda de mais alguns experimentos.

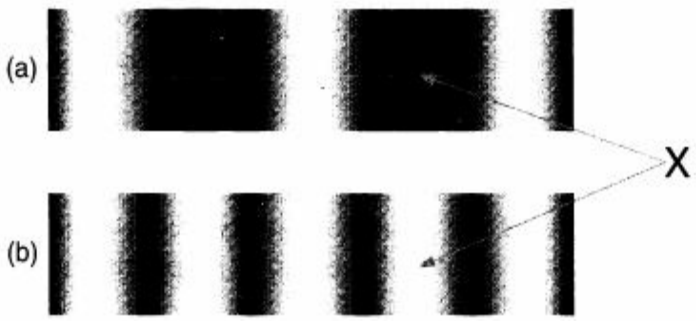


Figura 2.7 *As sombras projetadas por uma barreira que contém (a) quatro e (b) duas fendas retas e paralelas.*

Primeiro, o padrão de quatro fendas da Figura 2.7 (a) aparece somente se as quatro fendas estiverem iluminadas pelo feixe de laser. Se somente duas delas estiverem iluminadas aparecerá um padrão de duas fendas. Se três estiverem iluminadas aparecerá um padrão de três fendas, que é novamente diferente. Portanto, o que quer que cause a interferência está no feixe de luz. O padrão de duas fendas também se repetirá se duas das fendas forem preenchidas com alguma coisa opaca, mas não se forem preenchidas por alguma coisa transparente. Em outras palavras, a entidade interferente é obstruída por qualquer coisa que obstrua a luz, até uma coisa tão insubstancial quanto a neblina. Mas pode penetrar qualquer coisa que permita a passagem da luz, mesmo algo tão impenetrável (à matéria) quanto o

diamante. Se forem colocados no dispositivo sistemas complicados de espelhos e lentes, desde que a luz possa caminhar de uma fenda para determinado ponto da tela, o que será observado naquele ponto será parte de um padrão de quatro fendas. Se a luz de somente duas fendas puder alcançar determinado ponto, parte de um padrão de duas fendas será observado ali, e assim por diante.

Portanto, o que quer que cause interferência comporta-se como luz. E encontrado em qualquer lugar do feixe de luz e em nenhum lugar fora dele. É refletido, transmitido ou bloqueado por qualquer coisa que reflita, transmita ou bloqueie a luz. Você pode estar se perguntando porque estou destacando este ponto. Certamente é óbvio que é luz, isto é, o que interfere nos fótons de cada fenda são fótons das outras. Mas você poderá ficar inclinado a duvidar do óbvio, depois do próximo experimento, o desenlace de uma série.

O que esperaríamos que acontecesse quando esses experimentos forem executados com apenas um fóton de cada vez? Por exemplo, suponha que a nossa lanterna seja movida para tão longe que somente um fóton por dia atinja a tela. O que a nossa rã veria, observando da tela? Se é verdade que o que interfere em cada fóton são outros fótons, a interferência não deveria ser diminuída quando os fótons forem muito escassos? Não deveria cessar quando houvesse somente um fóton passando pelo dispositivo a qualquer momento? Poderíamos ainda esperar penumbra, pois um fóton poderia ser capaz de mudar de curso ao passar através de uma fenda (talvez ricocheteando na borda). Mas o que certamente não poderíamos observar é qualquer lugar na tela, como o X, que recebe fótons quando duas fendas estão abertas, mas que ficam escuros quando mais duas outras são abertas.

No entanto, é exatamente isso o que observamos. Qualquer que seja a escassez de fótons, o padrão de sombras permanece o mesmo. Mesmo quando o experimento é feito com um fóton de cada vez, nunca é observado que algum deles chega a X quando as quatro fendas estão abertas. No entanto, só precisamos fechar duas fendas para que recomece a cintilação em X.

Será que os fótons se dividem em fragmentos que, depois de passar pelas fendas, mudam de direção e se recombinam? Podemos excluir essa possibilidade também. Se, novamente, dispararmos um fóton através do dispositivo, mas usarmos quatro detectores, um em cada fenda, no máximo um deles registra qualquer coisa alguma vez. Como em tal experimento nunca observamos dois dos detectores desativados ao mesmo tempo,

podemos dizer que as entidades que eles detectam não estão se dividindo.

Portanto, se os fótons não se dividem em fragmentos e não estão sendo defletidos por outros fótons, o que os deflete? Quando um único fóton por vez está passando através do dispositivo, o que pode estar vindo através das outras fendas para interferir nele?

Vamos fazer uma avaliação. Descobrimos que, quando um fóton passa por esse dispositivo, passa através de uma das fendas e então alguma coisa interfere nele, defletindo-o de uma forma que depende de que outras fendas estejam abertas; as entidades interferentes passaram por alguma das outras fendas; as entidades interferentes comportam-se exatamente como fótons... ...exceto que não podem ser vistas.

Começarei agora a chamar as entidades interferentes de “fótons”. É isso o que elas são, embora no momento pareça haver duas espécies de fótons, que temporariamente chamarei de fótons tangíveis e fótons sombras. Fótons tangíveis são os que podemos ver ou detectar com instrumentos, ao passo que fótons sombras são intangíveis (invisíveis) — detectáveis apenas indiretamente, por meio de seus efeitos de interferência sobre fótons tangíveis. (Mais adiante veremos que não existem diferenças intrínsecas entre fótons tangíveis e sombras: cada fóton é tangível em um universo e intangível em todos os outros universos paralelos — mas estou me antecipando.) O que inferimos até agora é somente que cada fóton tangível tem uma comitiva acompanhante de fótons sombras e que, quando um fóton passa por uma das nossas quatro fendas, alguns fótons sombras passam pelas outras três. Tendo em vista que padrões de interferência diferentes aparecem quando cortamos fendas em outros lugares da tela, desde que estejam dentro do feixe, devem estar chegando fótons sombras em toda a parte iluminada da tela sempre que chega um fóton tangível. Portanto, há muito mais fótons sombras do que tangíveis. Quantos? Os experimentos não podem determinar um limite superior do número, mas estabelecem um limite inferior aproximado. Em um laboratório, a maior área que podemos iluminar convenientemente com um laser poderia ser cerca de um metro quadrado, e o menor tamanho manipulável para os orifícios poderia ser cerca de um milésimo de milímetro. Portanto, há cerca de 1012 (um trilhão) de locais possíveis de orifícios na tela. Portanto deve haver pelo menos um trilhão de fótons sombras acompanhando cada fóton tangível.

Assim inferimos a existência de um agitado e prodigiosamente complicado mundo oculto de fótons sombras. Eles viajam com a velocidade

da luz, saltam de espelhos, são refratados por lentes e detidos por barreiras opacas ou filtros da cor errada. No entanto, eles não disparam nem os detectores mais sensíveis. A única coisa no universo que se pode observar que um fóton sombra afeta é o fóton tangível que ele acompanha. Isso é o fenômeno da interferência. Fótons sombras ficariam completamente despercebidos se não fosse por esse fenômeno e pelos estranhos padrões de sombras pelos quais o observamos.

A interferência não é uma propriedade especial apenas dos fótons. A teoria quântica prediz, e o experimento confirma, que ela ocorre com todos os tipos de partículas. Portanto deve haver multidões de nêutrons sombras que acompanham cada nêutron tangível, multidões de elétrons sombras que acompanham cada elétron, e assim por diante. Cada uma dessas partículas sombras só é detectável indiretamente, por meio da sua interferência com o movimento da sua contraparte tangível.

Segue-se que a realidade é uma coisa muito maior do que parece e a maior parte dela é invisível. Os objetos e eventos que nós e nossos instrumentos podemos observar diretamente são apenas a ponta do iceberg.

As partículas tangíveis têm uma propriedade que nos autoriza a chamá-las, coletivamente, de universo. Isto é simplesmente sua propriedade definidora de ser tangíveis, isto é, de interagir umas com as outras, e por essa razão de ser diretamente detectáveis por instrumentos e órgãos dos sentidos feitos de outras partículas tangíveis. Em razão do fenômeno da interferência, elas não são inteiramente separadas do resto da realidade (isto é, das partículas sombras). Se fossem, nunca teríamos descoberto que há mais na realidade do que partículas tangíveis. Mas com uma boa aproximação, elas se assemelham ao universo que vemos ao nosso redor na vida diária e ao universo referido na física clássica (pré-quântica).

Por razões semelhantes, podemos pensar em chamar as partículas sombras, coletivamente, de universo paralelo, pois elas também somente são afetadas por partículas tangíveis por meio de fenômenos de interferência. Mas podemos fazer melhor que isso. Pois decorre que partículas sombras são separadas entre si mesmas exatamente da mesma maneira que o universo de partículas tangíveis é separado delas. Em outras palavras, elas não formam um universo paralelo único e homogêneo vastamente maior do que o tangível, mas um enorme número de universos paralelos, cada um semelhante em composição ao universo tangível e cada um obedecendo às mesmas leis da física, mas com a diferença de que as partículas estão em posições

diferentes em cada universo.

Um comentário sobre terminologia. A palavra “universo” tradicionalmente tem sido usada para significar “o todo da realidade física”. Nesse sentido, pode haver no máximo um universo. Poderíamos ficar com essa definição e dizer que a entidade que estamos acostumados a chamar de “o universo” — isto é, toda matéria e energia diretamente perceptível ao nosso redor e o espaço circundante — não é o universo inteiro afinal, mas somente uma pequena parte dele. Então deveríamos inventar um novo nome para essa parte pequena e tangível. Mas a maior parte dos físicos prefere continuar usando a palavra “universo” para denotar a mesma entidade que sempre denotou, mesmo que essa entidade agora mostre ser apenas uma pequena parte da realidade física. Uma nova palavra, multiverso, foi cunhada para denotar a realidade física como um todo.

Experimentos de interferência de partícula única como os que descrevi nos mostram que o multiverso existe e contém muitas contrapartes de cada partícula no universo tangível. Para chegar à conclusão posterior de que o multiverso é aproximadamente dividido em universos paralelos, devemos considerar fenômenos de interferência envolvendo mais do que uma partícula tangível. O meio mais simples de fazer isso é perguntar, por meio de um “experimento de pensamento”, o que deve estar acontecendo em nível microscópico quando fótons sombras atingem um objeto opaco. Eles são detidos, é claro: sabemos disso porque a interferência cessa quando uma barreira opaca é colocada no caminho dos fótons sombras. Mas, por quê? O que os detém? Podemos excluir a resposta direta — que eles são absorvidos, como seriam os fótons tangíveis, pelos átomos tangíveis da barreira. Por um lado, sabemos que fótons sombras não interagem com átomos tangíveis. Por outro, podemos verificar pela medição dos átomos na barreira (ou, mais precisamente, pela substituição da barreira por um detector) que eles nem absorvem energia nem mudam de estado de maneira alguma, a menos que sejam atingidos por fótons tangíveis. Fótons sombras não têm efeito.

Colocando de outra forma, fótons sombras e fótons tangíveis são afetados de maneiras idênticas quando chegam a dada barreira, mas a própria barreira não é afetada de modo idêntico pelos dois tipos de fótons. Na verdade, até onde podemos dizer, ela não é afetada por fótons sombras de nenhuma forma. Isso é realmente a propriedade definidora dos fótons sombras, pois, se algum material fosse afetado por eles de maneira observável, esse material poderia ser usado como detector de fótons sombras

e todo o fenômeno de sombras e interferência não seria como descrevi.

Por isso há algum tipo de barreira sombra no mesmo lugar da barreira tangível. Não é preciso um grande salto de imaginação para concluir que essa barreira sombra é constituída dos átomos sombras que já sabemos que devem estar presentes como contrapartes dos átomos tangíveis na barreira. Há muitos deles presentes para cada átomo tangível. Na verdade, a densidade total de átomos sombras, até mesmo na mais leve neblina, seria mais do que suficiente para deter um tanque, quanto mais um fóton, se todos eles pudessem afetá-lo. Como descobrimos que as barreiras parcialmente transparentes têm o mesmo grau de transparência tanto para os fótons sombras quanto para os tangíveis, segue-se que nem todos os átomos sombras no caminho de determinado fóton sombra podem se envolver no bloqueio da sua passagem. Cada fóton sombra encontra o mesmo tipo de barreira que sua contraparte tangível, uma barreira consistindo em somente uma pequena parte de todos os átomos sombras que estão presentes.

Pelo mesmo motivo, cada átomo sombra da barreira pode estar interagindo com apenas uma pequena parte dos outros átomos sombras da vizinhança e aqueles com os quais ele interage formam uma barreira muito parecida com a barreira tangível. E assim por diante. Toda matéria e todos os processos físicos têm essa estrutura. Se a barreira tangível é a retina da rã, deve haver muitas retinas sombras, cada uma capaz de deter apenas uma das contrapartes sombras de cada fóton. Cada retina sombra só interage fortemente com os fótons sombras correspondentes e com a rã sombra correspondente, e assim por diante. Em outras palavras, partículas são agrupadas em universos paralelos. Eles são “paralelos” no sentido de que dentro de cada universo as partículas interagem entre si da mesma forma que fazem no universo tangível, mas cada universo afeta os outros apenas fracamente, por meio de fenômenos de interferência.

Assim chegamos à conclusão da cadeia de raciocínio que começa com sombras formadas de maneira estranha e termina com universos paralelos. Cada passo toma a forma de notar que o comportamento dos objetos que observamos só pode ser explicado se houver objetos inobserváveis presentes e se esses objetos inobserváveis tiverem certas propriedades. O âmago do argumento é que fenômenos de interferência de partícula única inequivocamente excluem a possibilidade de que o universo tangível que nos cerca é tudo o que existe. Não existe controvérsia sobre o fato de que esses fenômenos de interferência ocorrem. No entanto, a existência do multiverso

ainda é uma visão minoritária entre os físicos. Por quê?

A resposta, sinto dizer, não recai bem na maioria. Terei mais a dizer sobre isto no Capítulo 13, mas por ora deixe-me dizer que os argumentos que apresentei neste capítulo só são convincentes para os que procuram explicações. Os que estão satisfeitos com mera previsão e não têm um forte desejo de entender como surgem os resultados previstos da experimentação podem, se desejarem, simplesmente negar a existência de qualquer coisa além do que tenho chamado de entidades “tangíveis". Algumas pessoas, como os instrumentalistas e positivistas, tomam esta linha como uma questão de princípio filosófico. Eu já disse o que penso sobre tais princípios e por quê. Outras pessoas apenas não querem pensar nisto. Afinal, é uma conclusão grande e, à primeira vista, muito perturbadora. Mas acho que essas pessoas estão cometendo um erro. Como espero persuadir os leitores que estão sendo pacientes comigo, entender o multiverso é uma precondição para entender a realidade o melhor que pudéramos. Isto não é dito com espírito de determinação inflexível para buscar a verdade, não importando quão desagradável ela possa ser (embora eu espere que tomaria essa atitude se a questão fosse essa). É o contrário, porque a visão de mundo resultante é muito mais integrada e faz mais sentido de tantas maneiras do que qualquer visão de mundo anterior e, certamente, mais do que o pragmatismo cínico que também muitas vezes hoje em dia serve como substituto para uma visão de mundo entre os cientistas.

“Por que não podemos apenas dizer”, perguntam alguns físicos pragmáticos, “que os fótons se comportam como se estivessem interagindo com entidades invisíveis? Por que não podemos deixar isso assim mesmo? Por que temos de continuar e assumir uma posição sobre se essas entidades invisíveis estão realmente lá?” Uma variante mais exótica do que é essencialmente a mesma ideia é o seguinte: “Um fóton tangível é real, um fóton sombra é meramente um meio pelo qual o fóton real poderia ter se comportado, mas não fez. Assim, a teoria quântica é sobre a interação do real com o possível'. Isso, pelo menos, parece adequadamente profundo. Mas infelizmente, as pessoas que assumem qualquer uma dessas visões — inclusive alguns cientistas eminentes que deveriam ter melhor conhecimento — invariavelmente escorregam para bobagens sem sentido nesse ponto. Portanto, vamos manter a cabeça fria. O fato principal é que um fóton real e tangível comporta-se de modo diferente de acordo com quais caminhos estejam abertos, em algum outro lugar do dispositivo, para que alguma coisa

viaje por eles e finalmente intercepte o fóton tangível. Alguma coisa realmente viaja por esses caminhos e recusar-se a chamá-la de “real” é meramente um jogo de palavras. “O possível” não pode interagir com o real: entidades que não existem não podem defletir as entidades reais de seus caminhos. Se um fóton é defletido, deve ter sido defletido por alguma coisa, à qual chamei de “fóton sombra”. Dar a ele um nome não o torna real, mas não pode ser verdade que um evento real, como a chegada e detecção de um fóton tangível, seja causado por um evento imaginário, como o que esse fóton “poderia ter feito” mas não fez. É apenas o que realmente acontece que pode realmente ser causa de outras coisas acontecerem. Se os movimentos complexos dos fótons sombras em um experimento de interferência fossem meras possibilidades que na verdade não aconteceram, então os fenômenos de interferência que vemos não aconteceriam de fato.

O motivo dos efeitos de interferência serem habitualmente tão fracos e difíceis de detectar pode ser encontrado nas leis da mecânica quântica que os governam. Duas implicações específicas dessas leis são relevantes. Primeira, toda partícula subatômica tem contrapartes em outros universos e apenas sofre interferência dessas contrapartes. Ela não é diretamente afetada por nenhuma outra partícula desses universos. Portanto, a interferência é observada somente em situações especiais, nas quais os caminhos de uma partícula e suas contrapartes sombras se separam e depois reconvergem (como quando um fóton e um fóton sombra se dirigem para o mesmo ponto da tela). Até a sincronização deve ser correta: se um de dois caminhos envolver um retardo, a interferência será reduzida ou impedida. Segunda implicação, a detecção da interferência entre quaisquer dois universos exige que ocorra uma interação entre todas as partículas cujas posições e outros atributos não sejam idênticos nos dois universos. Na prática, isso significa que a interferência é suficientemente forte para ser detectada somente entre universos muito semelhantes. Por exemplo, em todos os experimentos que descrevi, os universos interferentes diferem somente na posição de um fóton. Se um fóton afeta outras partículas enquanto caminha, e em particular se é observado, essas partículas ou o observador também se tornarão diferentes em universos diferentes. Se isso acontecer, uma interferência subsequente que envolva esse fóton será indetectável na prática, porque a interação necessária entre todas as partículas afetadas é complicada demais para ser organizada. Devo mencionar aqui que a frase padrão para descrever esse fato, isto é, “a observação destrói a interferência”, é muito enganosa de três

maneiras. Primeiro, sugere algum tipo de efeito de telecinesia do "observador" consciente sobre fenômenos físicos básicos, embora esse efeito não exista. Segundo, a interferência não é "destruída": ela é apenas (muito mais!) difícil de observar porque fazer isso envolve controlar o comportamento preciso de muitas outras partículas. Terceiro, não é apenas a "observação" que faz isso, mas qualquer efeito do fóton sobre suas cercanias que depende de qual caminho ele tomou.

Para o benefício dos leitores que podem ter visto outros relatos sobre física quântica, preciso fazer uma breve conexão entre o argumento que apresentei neste capítulo e a maneira como o assunto é habitualmente tratado. Talvez porque o debate tenha começado entre físicos teóricos, o ponto de partida tradicional tem sido a própria teoria quântica. Apresenta-se a teoria o mais cuidadosamente possível e então tenta-se entender o que ela nos diz a respeito da realidade. Essa é a única abordagem possível, se se quer entender os menores detalhes dos fenômenos quânticos. Mas quando se considera a questão de a realidade consistir em um ou muitos universos, ela é uma abordagem desnecessariamente complicada. É por isso que não a segui neste capítulo. Nem mesmo apresentei nenhum dos postulados da teoria quântica — meramente descrevi alguns fenômenos físicos e tirei conclusões inevitáveis. Mas se começarmos da teoria, há duas coisas com que todos concordam. A primeira é que a teoria quântica não tem rival em sua capacidade de prever os resultados de experimentos, mesmo se usarmos cegamente suas equações sem nos preocuparmos muito com o que significam. A segunda é que a teoria quântica nos diz alguma coisa nova e bizarra sobre a natureza da realidade. A disputa é somente sobre o que exatamente é isso. O físico Hugh Everett foi o primeiro a entender claramente (em 1957, cerca de trinta anos depois de a teoria se tornar a base da física subatômica) que a teoria quântica descreve um multiverso. Desde então, o argumento tem se alastrado sobre se a teoria admite qualquer outra interpretação (ou reinterpretação, ou reformulação, ou modificação etc.) na qual descreve um universo único, mas continua corretamente a prever os resultados dos experimentos. Em outras palavras, a aceitação das previsões da teoria quântica nos obriga a aceitar a existência de universos paralelos?

Parece-me que essa pergunta, e portanto todo o tom predominante do debate sobre esse problema, está teimosamente errada. Reconhecidamente, é certo e apropriado para físicos teóricos, como eu mesmo, dedicar muito esforço à tentativa de entender a estrutura formal da teoria quântica, mas não

à custa de perder de vista o nosso objetivo primário, que é entender a realidade. Mesmo se as previsões da teoria quântica pudessem, de alguma forma, ser feitas sem referência a mais de um universo, os fótons individuais ainda projetariam sombras da maneira que descrevi. Sem saber nada sobre a teoria quântica, podemos ver que essas sombras não poderiam ser o resultado de alguma história única do fóton à medida que ele se move da lanterna para o olho do observador. Elas são incompatíveis com qualquer explicação em termos somente dos fótons que vemos. Ou somente em termos da barreira que vemos. Ou somente em termos do universo que vemos. Portanto, se a melhor teoria disponível aos físicos não se referisse a universos paralelos, isso meramente significaria que precisamos de uma teoria melhor, que se referisse a universos paralelos para explicar o que vemos.

Então, a aceitação das previsões da teoria quântica nos obriga a aceitar a existência de universos paralelos? Não em si mesma. Sempre podemos reinterpretar qualquer teoria em linhas instrumentalistas de forma que ela não nos force a aceitar alguma coisa sobre a realidade. Mas isso está longe da questão. Como eu já disse, não precisamos de teorias profundas para nos dizer que universos paralelos existem — os fenômenos de interferência de partículas únicas nos dizem isso. Precisamos é de teorias profundas para explicar e prever esses fenômenos: para nos dizer como são os outros universos, a que leis obedecem, como afetam uns aos outros e como isso se adapta aos fundamentos teóricos de outros assuntos. É isso o que faz a teoria quântica. A teoria quântica de universos paralelos não é o problema, é a solução. Não é uma interpretação incômoda e opcional que emerge de considerações teóricas enigmáticas. É a explicação — a única sustentável — de uma realidade notável e anti-intuitiva.

Até agora tenho usado terminologia temporária, que sugere que um dos muitos universos paralelos difere dos outros por ser “tangível”. É hora de cortar essa última ligação com a concepção clássica de realidade de universo único. Vamos voltar para a nossa rã. Vimos que a história da rã que olha para a lanterna distante durante dias de cada vez, esperando pela cintilação que chega em média uma vez por dia, não é a história toda, porque devem existir também as rãs sombras em universos sombras que coexistem com o universo tangível, também esperando pelos fótons. Suponha que nossa rã seja treinada para saltar quando vê uma cintilação. No começo do experimento, a rã tangível terá um grande conjunto de contrapartes sombras, todas inicialmente iguais. Mas logo depois elas não serão mais todas iguais. É improvável que

qualquer uma delas em particular veja um fóton, imediatamente. Mas o que é um evento raro em qualquer universo é um evento comum no multiverso como um todo. A qualquer instante, em algum lugar do multiverso, existem alguns universos nos quais um dos fótons está atingindo a retina da rã naquele universo. E essa rã salta.

Por que, exatamente, ela salta? Porque dentro do seu universo ela obedece às mesmas leis da física que as rãs tangíveis, e sua retina sombra foi atingida por um fóton sombra que pertence a esse universo. Uma das moléculas sombras sensíveis à luz daquela retina sombra respondeu passando por mudanças químicas complexas, às quais o nervo óptico sombra da rã, por sua vez, respondeu. Ele transmitiu uma mensagem para o cérebro da rã sombra, e a rã, consequentemente, sofreu a sensação de ver uma cintilação.

Ou devo dizer, "a sensação sombra de ver uma cintilação"? Certamente não. Se observadores "sombras", sejam rãs ou pessoas, são reais, então suas sensações devem também ser reais. Quando eles observam o que poderíamos chamar de objeto sombra, observam que ele é tangível. Eles observam isso com os mesmos meios e de acordo com a mesma definição que aplicamos quando dizemos que o universo que observamos é "tangível". A tangibilidade é relativa a um dado observador. Portanto, objetivamente não existem dois tipos de fótons, tangíveis e sombras, nem dois tipos de rãs, nem dois tipos de universo, um tangível e o resto sombra. Não há nada na descrição que dei da formação das sombras, ou de qualquer dos fenômenos relacionados, que distinga entre os objetos "tangíveis" e "sombras", à parte a mera afirmação de que uma das cópias é "tangível". Quando introduzi fótons tangíveis e sombras, aparentemente os distingui dizendo que podemos ver os primeiros, mas não os últimos. Mas, quem somos "nós"? Enquanto eu escrevia aquilo, multidões de Davids sombras também escreviam. Eles também fizeram distinção entre fótons tangíveis e sombras, mas os fótons que eles chamaram de "sombras" incluem os que chamei de "tangíveis" e os que eles chamaram de "tangíveis" estão entre os que chamei de "sombras".

Não somente nenhuma das cópias de um objeto tem posição privilegiada na explicação das sombras que descrevi, como nenhuma tem uma posição privilegiada em toda a explicação matemática oferecida pela teoria quântica. Posso sentir subjetivamente que me distingo entre as cópias como o "tangível", porque posso perceber diretamente a mim mesmo e não os outros, mas devo me ajustar ao fato de que todos os outros sentem a mesma coisa a respeito deles mesmos. Muitos desses Davids estão neste momento

escrevendo estas mesmas palavras. Alguns as estão colocando melhor, outros saíram para pegar uma xícara de chá.

Terminologia Empregada no Capítulo

Fóton — Uma partícula de luz.

Tangível/sombra —Para o propósito de exposição somente neste capítulo, chamei as partículas deste universo de tangíveis e as de outros universos de partículas sombras.

Multiverso — O total da realidade física. Contém muitos universos paralelos.

Universos paralelos — São “paralelos” no sentido de que dentro de cada universo as partículas interagem umas com as outras da mesma forma que fazem no universo tangível, mas cada universo afeta os outros apenas fracamente, por meio de fenômenos de interferência.

Teoria quântica — A teoria da física do multiverso.

Quantização — A propriedade de ter um conjunto discreto (em vez de contínuo) de valores possíveis. A teoria quântica tem o seu nome a partir da afirmação de que todas as quantidades mensuráveis são quantizadas. Entretanto, o efeito quântico mais significativo não é a quantização, mas a interferência.

Interferência — O efeito de uma partícula de um universo sobre sua contraparte em outro. A interferência dos fótons pode fazer com que as sombras sejam muito mais complicadas do que meras silhuetas dos obstáculos que as produzem.

Resumo

Em experimentos de interferência, pode haver lugares em um padrão de sombras que ficam escuros quando são feitas novas aberturas na barreira que produz a sombra. Isso permanece verdadeiro mesmo quando o experimento é executado com partículas individuais. Uma cadeia de raciocínios baseados neste fato exclui a possibilidade de que o universo que vemos ao nosso redor constitui o total da realidade. Na verdade, o total da realidade física, o multiverso, contém um número imenso de universos paralelos.

A física quântica é um dos quatro elementos principais da explicação. O próximo elemento é a epistemologia, a teoria do conhecimento.

3 Solução de Problemas

Não sei o que é mais estranho — o comportamento das sombras ou o fato de contemplar alguns padrões de luz e sombra poder nos forçar a revisar radicalmente nosso conceito da estrutura da realidade. O argumento que apresentei no capítulo anterior, não obstante sua conclusão controversa, é um típico raciocínio científico. Vale a pena refletir sobre o caráter desse raciocínio, que é, por si mesmo, um fenômeno natural pelo menos tão surpreendente e cheio de ramificações quanto a física das sombras.

Para aqueles que prefeririam que a realidade tivesse uma estrutura mais prosaica, pode parecer um tanto fora de proporção — até injusto — que essas graves consequências possam resultar do fato de um pequeno ponto de luz em uma tela estar aqui e não lã. No entanto, resultam, e de forma alguma esta é a primeira vez na história da ciência que isso acontece. A esse respeito, a descoberta de outros universos é uma reminiscência da descoberta de outros planetas por antigos astrônomos. Antes de mandarmos sondas espaciais para a Lua e os planetas, todas as nossas informações sobre planetas vieram de pontos de luz (ou outra radiação) observados em um lugar em vez de outro. Pense em como foi descoberto o fato definidor original sobre planetas — o fato de eles não serem estrelas. Observando o céu noturno por algumas horas, vê-se que as estrelas parecem girar ao redor de determinado ponto no céu. Elas giram rigidamente, mantendo posições fixas entre si. A explicação tradicional era que o céu noturno era uma imensa “esfera celestial” girando ao redor de uma Terra fixa e que as estrelas eram orifícios na esfera ou cristais brilhantes incrustados nela. Entretanto, entre os milhares de pontos no céu visíveis a olho nu, há um punhado de pontos mais brilhantes que, durante períodos mais longos, não se movem como se fossem fixos em uma esfera celestial. Eles vagueiam no céu em movimentos mais complexos. São chamados “planetas”, nome tirado da palavra grega que significa “errante”. Sua vagueação era um sinal de que a explicação da esfera celestial era inadequada.

Sucessivas explicações dos movimentos dos planetas tiveram papel importante na história da ciência. A teoria heliocêntrica de Copérnico colocava os planetas e a Terra em órbitas circulares ao redor do Sol. Kepler descobriu que as órbitas eram elipses, não círculos. Newton explicou as elipses por meio da sua lei do inverso do quadrado das forças gravitacionais,

e sua teoria foi posteriormente usada para prever que a atração gravitacional mútua entre planetas causaria pequenos desvios das órbitas elípticas. A observação desses desvios levou à descoberta, em 1846, de um novo planeta, Netuno, uma das muitas descobertas que corroboraram espetacularmente a teoria de Newton. Não obstante, algumas décadas depois a teoria da relatividade geral de Einstein nos deu uma explicação fundamentalmente diferente da gravidade, em termos de espaço e tempo curvos, e por meio disso previu mais uma vez movimentos ligeiramente diferentes. Por exemplo, ela previu corretamente que todos os anos o planeta Mercúrio desviaria cerca de um décimo milésimo de grau de onde a teoria de Newton dizia que ele deveria estar. Também implicava que a luz das estrelas, ao passar perto do Sol, seria defletida pela gravidade duas vezes mais do que previa a teoria de Newton. A observação dessa deflexão, feita por Arthur Eddington em 1919, é muitas vezes considerada um marco do momento em que a visão de mundo newtoniana deixou de ser racionalmente defensável. (Ironicamente, modernas reavaliações da exatidão do experimento de Eddington sugerem que isso pode ter sido prematuro.) O experimento, que desde então tem sido repetido com grande exatidão, consistia na medição da posição de pontos (as imagens de estrelas perto da orla do Sol durante um eclipse) registrados em uma placa fotográfica.

À medida que a previsão astronômica se tornava mais precisa, diminuíam as diferenças entre o que as sucessivas teorias previam sobre a aparência do céu noturno. Telescópios e instrumentos de medição cada vez mais poderosos tiveram de ser construídos para detectar as diferenças. Entretanto, as explicações subjacentes a essas previsões não têm convergido. Ao contrário, como já resumi, tem havido uma sucessão de mudanças revolucionárias. Assim, observações de efeitos físicos cada vez menores têm forçado mudanças cada vez maiores da nossa visão de mundo. Portanto, parece que estamos inferindo conclusões cada vez mais importantes a partir de evidências cada vez mais escassas. O que justifica essas inferências? Podemos ter certeza de que, só porque uma estrela apareceu milimetricamente deslocada na placa fotográfica de Eddington, o espaço e o tempo devem ser curvos; ou que porque um fotodetetor em certa posição não registra um “impacto” de luz fraca, devem existir universos paralelos?

Na verdade, o que acabei de dizer indica tanto a fragilidade quanto a forma indireta de toda a evidência experimental. Pois não percebemos diretamente as estrelas, pontos em placas fotográficas ou quaisquer outros

objetos ou eventos externos. Vemos coisas somente quando suas imagens aparecem na nossa retina, e nem mesmo percebemos essas imagens até que tenham originado impulsos elétricos nos nossos nervos, e esses impulsos tenham sido recebidos e interpretados pelo nosso cérebro.

Desta forma, a evidência física que nos influencia diretamente e nos faz adotar certa teoria ou visão de mundo em vez de outra, é menos que milimétrica: é medida em milésimos de milímetro (a separação das fibras nervosas no nervo óptico) e em centésimos de volt (a mudança de potencial elétrico nos nossos nervos que faz a diferença entre nossa percepção de uma coisa e de outra).

No entanto, não conferimos significados iguais a todas as nossas impressões sensoriais. Em experimentos científicos nos esforçamos para trazer à nossa percepção aqueles aspectos da realidade externa que achamos que poderiam nos ajudar a distinguir teorias rivais que estamos considerando. Antes mesmo de fazer uma observação, decidimos cuidadosamente onde e quando devemos olhar e o que devemos procurar. Muitas vezes usamos instrumentos complexos e especialmente construídos, como telescópios e fotomultiplicadores. No entanto, por mais sofisticados que sejam os instrumentos que empregamos e por mais substanciais que sejam as causas externas às quais atribuímos suas leituras, percebemos essas leituras exclusivamente por meio dos nossos órgãos sensoriais. Não há escapatória para o fato de os seres humanos serem pequenas criaturas com apenas alguns canais imprecisos e incompletos pelos quais recebemos todas as informações de fora de nós mesmos. Interpretamos essas informações como evidências de um universo externo grande e complexo (ou multiverso). Mas quando pesamos essas evidências, estamos literalmente contemplando nada mais do que padrões de corrente elétrica fraca fluindo através do nosso cérebro.

O que justifica as inferências que tiramos desses padrões? Certamente não é uma questão de dedução lógica. Não há maneira de provar a partir dessas ou de quaisquer outras observações que o universo externo, ou multiverso, existe realmente, quanto mais que as correntes elétricas recebidas pelo nosso cérebro têm algum relacionamento específico com ele. Qualquer coisa ou tudo o que percebemos poderia ser uma ilusão ou um sonho. Ilusões e sonhos, afinal, são comuns. O solipsismo, a teoria de que somente uma mente existe e de que o que parece ser realidade externa é apenas um sonho acontecendo nessa mente, não pode ser refutado logicamente. A realidade poderia consistir em uma pessoa, presumivelmente você, sonhando com as

experiências de uma vida. Ou poderia consistir em somente você e eu. Ou apenas no planeta Terra e seus habitantes. E, se sonhássemos com a evidência — qualquer evidência — da existência de outras pessoas, ou de outros planetas, ou de outros universos, isso não provaria nada sobre quantas dessas coisas existem realmente.

Como o solipsismo e uma infinidade de teorias relacionadas são logicamente consistentes com a sua percepção de qualquer evidência observacional possível, segue-se que você não pode logicamente deduzir nada sobre a realidade a partir de evidências da observação. Como, então, eu poderia dizer que o comportamento observado das sombras "exclui" a teoria de que existe somente um universo ou que a observação de eclipses torna a visão de mundo newtoniana "racionalmente insustentável"? Como pode ser assim? Se "excluir" não significa "refutar", o que significa? Por que deveríamos nos sentir impelidos a mudar a nossa visão de mundo ou na verdade qualquer opinião, por conta de alguma coisa ser "excluída" nesse sentido? Esta crítica parece lançar dúvidas sobre toda a ciência — sobre qualquer raciocínio a respeito da realidade externa que apela para a evidência da observação. Se o raciocínio científico não corresponde a sequências de deduções lógicas a partir da evidência, a que corresponde? Por que deveríamos aceitar suas conclusões?

Isso é conhecido como o "problema da indução". O nome deriva do que foi, durante a maior parte da história da ciência, a teoria predominante sobre como a ciência funciona. A teoria era que, na falta de provas matemáticas, existe uma forma inferior mas ainda valiosa de justificação denominada indução. Por um lado, a indução era contrastada com a supostamente perfeita justificação oferecida pela dedução e, por outro, com formas filosóficas ou intuitivas, supostamente mais fracas, de raciocínios que nem mesmo têm a evidência da observação para apoiá-los. Na teoria indutiva do conhecimento científico, as observações têm dois papéis: primeiro, na descoberta das teorias científicas e, segundo, na sua justificação. Uma teoria supostamente deve ser descoberta por meio de "extrapolação" ou "generalização" dos resultados das observações. Então, se um grande número de observações estiverem em conformidade com a teoria e nenhuma se desviar dela, supõe-se que a teoria está justificada — é mais acreditável, provável ou confiável. O esquema é ilustrado na Figura 3-1.

A análise indutiva da minha discussão sobre sombras seria, portanto, algo como isto: "Fazemos uma série de observações de sombras e vemos

fenômenos de interferência (estágio 1). Os resultados estão em conformidade com o que esperaríamos se existissem universos paralelos, que afetam uns aos outros de certas maneiras. Mas, a princípio, ninguém nota isso. Finalmente (estágio 2) alguém forma a generalização de que a interferência sempre será observada sob as circunstâncias dadas e, por meio disso, induz a teoria de que universos paralelos são os responsáveis. Com cada observação posterior da interferência (estágio 3) ficamos um pouco mais convencidos dessa teoria. Depois de uma sequência suficientemente longa dessas observações, e desde que nenhuma delas jamais contradiga a teoria, concluímos (estágio 4) que a teoria é verdadeira. Embora nunca possamos ter certeza absoluta, para todos os fins práticos estamos convencidos."

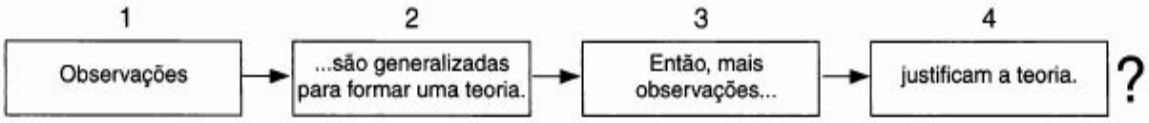


Figura 3.1 *O esquema indutivista.*

É difícil saber por onde começar a criticar a concepção indutivista de ciência — ela é profundamente falsa de muitas maneiras diferentes. Talvez a pior falha, do meu ponto de vista, seja a completa "non sequitur" de que uma previsão generalizada seja equivalente a uma nova teoria. Como todas as teorias científicas de alguma profundidade, a teoria de que existem universos paralelos simplesmente não tem a forma de uma generalização a partir das observações. Nós observamos primeiramente um universo, depois um segundo e um terceiro, e induzimos que existem trilhões deles? A generalização de que os planetas "vagueiam" pelo céu em um padrão e não em outro foi equivalente à teoria de que eles são mundos em órbita ao redor do Sol e que a Terra é um deles? Também não é verdade que a repetição das nossas observações é a maneira de nos convencermos das teorias científicas. Como eu disse, teorias são explicações, não meras previsões. Se não aceitamos uma explicação proposta de um conjunto de observações, repetir continuamente as observações raramente é o remédio. Pode nos ajudar ainda menos a criar uma explicação satisfatória quando não podemos pensar em nenhuma.

Além disso, mesmo meras previsões nunca podem ser justificadas por evidências observacionais, como Bertrand Russell ilustrou em sua história da galinha. (Para evitar qualquer mal-entendido, quero enfatizar que era uma galinha metafórica e antropomórfica, representando um ser humano tentando

entender as regularidades do universo.) A galinha observou que o fazendeiro vinha alimentá-la todos os dias. Ela previu que o fazendeiro continuaria a lhe trazer alimento todos os dias. Os indutivistas acham que a galinha tinha "extrapolado" suas observações em uma teoria e que cada momento de alimentação acrescentava justificação a essa teoria. Então, um dia o fazendeiro veio e torceu o pescoço da galinha. O desapontamento vivido pela galinha de Russell também foi experimentado por trilhões de outras galinhas. Isto justifica indutivamente a conclusão de que a indução não pode justificar nenhuma conclusão!

Entretanto, essa linha de crítica deixa o indutivismo de fora muito levianamente. Ela ilustra o fato de repetidas observações não poderem justificar teorias, mas fazendo isso perde inteiramente (ou melhor, aceita) uma concepção errônea mais básica: isto é, que a extrapolação indutivista das observações para formar novas teorias é até possível. Na verdade, é impossível extrapolar observações, a não ser que já as tenhamos colocado em um quadro explicativo. Por exemplo, para "induzir" sua previsão falsa, a galinha de Russell primeiramente deve ter tido em mente uma falsa explicação do comportamento do fazendeiro. Talvez ela pensasse que o fazendeiro tivesse abrigado sentimentos benevolentes em relação a galinhas. Se ela tivesse pensado em uma explicação diferente — que o fazendeiro estava tentando engordar a galinha para abatê-la, por exemplo — teria "extrapolado" o comportamento de modo diferente. Suponha que um dia o fazendeiro comece a levar mais alimento do que o habitual para a galinha. A maneira de extrapolar este novo conjunto de observações para prever o comportamento futuro do fazendeiro depende inteiramente de como ele é explicado. De acordo com a teoria do fazendeiro benevolente, é evidente que a sua benevolência para com as galinhas aumentou e, portanto, as galinhas têm até menos motivos para se preocupar do que antes. Mas, de acordo com a teoria da engorda, o comportamento é agourento — é evidente que o abate é iminente.

O fato de as mesmas evidências observacionais poderem ser "extrapoladas" para fornecer duas previsões diametralmente opostas, de acordo com cada explicação que seja adotada, e não poder justificar nenhuma delas, não é uma limitação acidental do ambiente da fazenda: é verdadeiro para todas as evidências observacionais sob todas as circunstâncias. As observações não poderiam representar nenhum dos papéis atribuídos a elas no esquema indutivo, mesmo com respeito a meras previsões, para não

mencionar teorias explicativas genuínas. Reconhecidamente, o indutivismo baseia-se na teoria de senso comum do crescimento do conhecimento — que aprendemos com a experiência — e historicamente estava associado à libertação da ciência do dogma e da tirania. Mas, se queremos entender a verdadeira natureza do conhecimento e seu lugar na estrutura da realidade, devemos encarar o fato de que o indutivismo é falso, dos pés à cabeça. Nenhum raciocínio científico, e na verdade nenhum raciocínio bem-sucedido de qualquer tipo, jamais se adaptou à descrição indutivista.

Então, o que é o padrão de raciocínio e descoberta científicos? Vimos que o indutivismo e todas as outras teorias do conhecimento centradas em previsões baseiam-se em concepções errôneas. O que precisamos é de uma teoria do conhecimento centrada na explicação: "uma teoria sobre como as explicações vêm a existir e como são justificadas", uma teoria de como, por que e quando devemos permitir que as nossas percepções mudem a nossa visão de mundo. Uma vez que tenhamos essa teoria, não precisaremos de uma teoria separada de previsões. Pois, dada uma explicação de algum fenômeno observável, não é mistério a maneira de obter previsões. E se justificamos uma explicação, quaisquer previsões derivadas dessa explicação também são automaticamente justificadas.

Felizmente, a teoria predominante do conhecimento científico, que em sua forma moderna é grandemente devida ao filósofo Karl Popper (e que é um dos meus quatro "elementos principais" da explicação da estrutura da realidade), pode realmente ser considerada uma teoria das explicações nesse sentido. Ela considera a ciência como um processo de solução de problemas. O indutivismo considera o catálogo das nossas observações passadas como um tipo de teoria esquelética, supondo que a ciência trata de preencher as brechas daquela teoria fazendo interpolações e extrapolações. A solução de problemas começa com uma teoria inadequada — mas não com a "teoria" nocional que consiste em observações passadas. Ela começa com nossas melhores teorias existentes. Quando algumas dessas teorias nos parecem inadequadas e querermos teorias novas, é isso o que constitui um problema. Assim, contrariamente ao esquema indutivista mostrado na Figura 3.1, a descoberta científica não precisa começar com evidências da observação. Mas sempre se inicia com um problema. Com um "problema" não quero dizer necessariamente uma emergência prática ou uma fonte de ansiedade. Quero dizer apenas um conjunto de ideias que parecem inadequadas e merecem uma tentativa de melhoria. A explicação existente pode parecer

muito superficial ou muito elaborada; pode parecer desnecessariamente estreita ou irrealisticamente ambiciosa. Pode-se ter um vislumbre de uma possível unificação com outras ideias. Ou uma explicação satisfatória em um campo pode parecer irreconciliável com uma explicação igualmente satisfatória em outro. Ou pode ser que tenha havido algumas observações surpreendentes — como a vagueação dos planetas — que as teorias existentes não previram e não podem explicar.

O último tipo de problema assemelha-se ao estágio 1 do esquema indutivo, mas apenas superficialmente. Pois uma observação inesperada nunca inicia uma descoberta científica, a menos que as teorias preexistentes já contenham as sementes do problema. Por exemplo, as nuvens vagueiam ainda mais que os planetas. Essa vagueação imprevisível presumivelmente era familiar muito tempo antes de os planetas serem descobertos. Além disso, prever o clima sempre teria sido de grande valor para fazendeiros, homens do mar e soldados, de forma que sempre teria havido um incentivo para teorizar sobre como as nuvens se movem. No entanto, não foi a meteorologia que abriu caminho para a ciência moderna, mas a astronomia. Evidências observacionais sobre meteorologia estavam muito mais prontamente disponíveis do que sobre astronomia, mas ninguém prestava muita atenção a elas e ninguém induzia delas nenhuma teoria sobre frentes frias ou anticiclones. A história da ciência não foi povoada com disputas, dogmas, heresias, especulações e teorias elaboradas sobre a natureza das nuvens e seu movimento. Por quê? Porque sob a estrutura explicativa estabelecida para o clima, era perfeitamente compreensível que o movimento das nuvens devia ser imprevisível. O bom senso sugere que as nuvens se movem com o vento. Quando elas se deslocam em outras direções, é razoável supor que o vento pode ser diferente em altitudes diferentes, e é muito imprevisível, portanto é fácil concluir que não há nada mais a ser explicado. Algumas pessoas, sem dúvida, assumiram essa visão dos planetas e supuseram que eles fossem apenas objetos brilhantes na esfera celestial, soprados por ventos de grande altitude, ou talvez movidos por anjos, e que não havia nada mais a ser explicado. Mas outras não se satisfizeram com isso e imaginaram haver explicações mais profundas por trás da vagueação dos planetas. Portanto, elas buscaram essas explicações e as encontraram. Em várias ocasiões na história da astronomia parecia haver uma massa de evidências observacionais inexplicadas; em outras ocasiões somente uma centelha, ou nenhuma. Mas sempre, se as pessoas tivessem escolhido sobre o que teorizar de acordo com

o número cumulativo de observações de fenômenos específicos, teriam escolhido nuvens em vez de planetas. No entanto, elas escolheram planetas e por diversos motivos. Alguns motivos dependeram dos preconceitos sobre como a cosmologia deveria ser, ou dos argumentos apresentados por antigos filósofos, ou da numerologia mística. Alguns eram baseados na física da época, outros na matemática ou geometria. Alguns acabaram tendo mérito objetivo, outros não. Mas cada um deles equivalia a isto: parecia a alguém que as explicações existentes poderiam e deveriam ser aperfeiçoadas.

Solucionamos um problema encontrando teorias novas ou corrigidas, com explicações que não têm as deficiências, mas conservam os méritos, de explicações existentes (Figura 3.2). Desta maneira, depois de um problema se apresentar (estágio 1), o próximo estágio sempre envolve conjetura, propor novas teorias ou modificar ou reinterpretar as antigas, na esperança de solucionar o problema (estágio 2). As conjeturas são então criticadas e, se a crítica for racional, acarretará em examiná-las e compará-las para ver quais oferecem as melhores explicações, de acordo com os critérios inerentes do problema (estágio 3). Quando uma teoria conjeturada não sobrevive à crítica — isto é, quando parece oferecer explicações piores do que as outras teorias — ela é abandonada. Se nos acharmos abandonando uma das nossas teorias originalmente aceitas em favor de uma das recentemente propostas (estágio 4), tentativamente julgamos o nosso empreendimento de solução de problema com tendo feito progresso. Digo “tentativamente” porque subsequentes soluções de problemas provavelmente envolverão a alteração ou a substituição até mesmo dessas novas e aparentemente satisfatórias teorias e, às vezes, até a ressurreição de algumas das aparentemente insatisfatórias. Desta forma a solução, embora seja boa, não é o fim da história: é um ponto de partida para o próximo processo de solução de problema (estágio 5). Isto ilustra outra concepção errônea por trás do indutivismo. Em ciência, o objeto do exercício não é encontrar uma teoria que será, ou tenha probabilidade de ser, julgada verdadeira para sempre; é encontrar a melhor teoria disponível agora e, se possível, aperfeiçoar todas as teorias disponíveis. Um argumento científico destina-se a nos persuadir de que dada explicação é a melhor disponível. Ele não diz, e não poderia dizer, qualquer coisa sobre como essa explicação se sairá quando, no futuro, for submetida a novos tipos de crítica e comparada com explicações que ainda serão inventadas. Uma boa explicação pode fazer boas previsões sobre o futuro, mas uma coisa que nenhuma explicação pode nem mesmo começar a prever é o conteúdo ou a qualidade

das suas próprias rivais futuras.

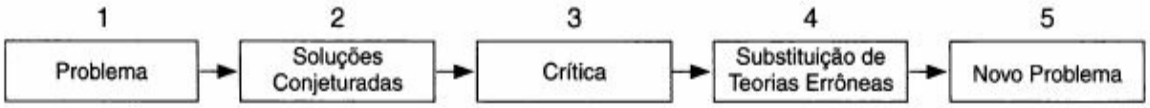


Figura 3.2 *O processo de solução de problemas.*

O que descrevi até agora aplica-se a todas as soluções de problemas, quaisquer que sejam os assuntos ou as técnicas de crítica racional envolvidos. A solução científica de problemas sempre inclui um método particular de crítica racional, isto é, testes experimentais. Onde duas ou mais teorias rivais fazem previsões conflitantes sobre o resultado de um experimento, o experimento é realizado e a teoria ou as teorias que fazem previsões falsas são abandonadas. A própria construção das conjeturas científicas é focalizada na descoberta de explicações que têm previsões experimentalmente testáveis. Idealmente, estamos sempre buscando testes experimentais cruciais — experimentos cujos resultados, quaisquer que sejam, falsifiquem uma ou mais teorias competidoras. Esse processo é ilustrado na Figura 3-3. Quer as observações estejam ou não envolvidas no problema (estágio 1) e quer as teorias competidoras sejam ou não especificamente projetadas (estágio 2) para ser testadas experimentalmente, é nessa fase crítica da descoberta científica (estágio 3) que os testes experimentais representam seu papel característico e decisivo. Esse papel é tornar algumas das teorias concorrentes insatisfatórias, revelando que suas explicações levam a previsões falsas. Devo mencionar aqui uma assimetria importante na filosofia e metodologia da ciência: a assimetria entre a refutação experimental e a confirmação experimental. Enquanto uma previsão incorreta automaticamente torna a explicação subjacente insatisfatória, uma previsão correta não diz absolutamente nada sobre a explicação subjacente. Existem explicações inferiores que produzem muitas previsões corretas, como deveriam ter em mente (mas não têm) os entusiastas de OVNI, teóricos de conspirações e pseudocientistas de todos os tipos.

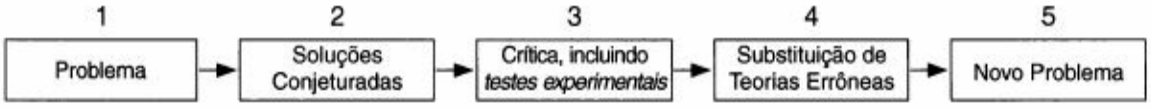


Figura 3.3 *O curso da descoberta científica.*

Se uma teoria sobre eventos observáveis não pode ser testada — isto é, se nenhuma observação possível a excluiria — ela não pode, por si mesma,

explicar por que esses eventos acontecem da maneira que são observados e não de outra maneira. Por exemplo, a teoria “angelical” do movimento planetário não pode ser testada porque, independentemente de como os planetas se movessem, esse movimento poderia ser atribuído a anjos; portanto, a teoria do anjo não pode explicar os movimentos que vemos, a não ser que seja suplementada por uma teoria independente sobre como os anjos se movem. É por isso que existe uma regra metodológica em ciência, que diz que, uma vez que uma teoria que pode ser testada experimentalmente tenha passado pelos testes apropriados, qualquer teoria rival sobre o mesmo fenômeno com menor possibilidade de ser testada é sumariamente rejeitada, pois suas explicações tendem a ser inferiores. Esta regra é muitas vezes citada como distinguindo a ciência de outros tipos de criação de conhecimento. Mas se adotarmos a visão de que a ciência diz respeito a explicações, veremos que essa regra é realmente um caso especial de alguma coisa que se aplica naturalmente a todas as soluções de problemas: teorias que são capazes de dar explicações mais detalhadas são automaticamente preferidas. E são preferidas por dois motivos. Um deles é que uma teoria que se projeta por ser mais específica sobre mais fenômenos abre para si mesma e para suas rivais mais formas de crítica e, portanto, tem mais chances de levar adiante o processo de solução de problemas. O segundo motivo é simplesmente que, se essa teoria sobreviver à crítica, deixará menos sem ser explicado — que é o objetivo do exercício.

Já comentei que mesmo em ciência a maior parte da crítica não consiste em testes experimentais. Isso porque a maior parte da crítica científica é direcionada não às previsões de uma teoria, mas diretamente às explicações subjacentes. Testar as previsões é apenas um meio indireto (embora excepcionalmente poderoso, quando está disponível) de testar as explicações. No Capítulo 1 dei o exemplo da “cura pela grama” — a teoria de que comer um quilo de grama é uma cura para o resfriado comum. Essa teoria e uma infinidade de outras do mesmo tipo podem ser prontamente testadas. Mas podemos criticá-las e rejeitá-las sem nos incomodar em fazer nenhum experimento, baseados puramente no princípio de que elas não explicam mais do que as teorias predominantes que contradizem, embora façam afirmações novas e inexplicadas.

Os estágios da descoberta científica mostrados na Figura 3-3 raramente são completados em sequência na primeira tentativa. Normalmente existem repetidos retrocessos antes que cada estágio seja terminado — ou melhor,

solucionado, pois cada estágio pode apresentar um problema cuja solução exija todos os cinco estágios de um processo secundário de solução de problema. Isto se aplica até o estágio 1, pois o próprio problema inicial não é imutável. Se não pudermos pensar em boas soluções possíveis, poderemos retornar ao estágio 1 e tentar reformular o problema, ou até escolher outro problema. Na verdade, a insolubilidade aparente é apenas um dos vários motivos pelos quais muitas vezes achamos desejável modificar os problemas que estamos solucionando. Algumas variantes de um problema são inevitavelmente mais interessantes ou mais relevantes para outros problemas; algumas são mais bem formuladas; algumas parecem ser potencialmente mais frutíferas ou mais urgentes — ou qualquer outra coisa. Em muitos casos a questão do que precisamente é o problema e de quais seriam os atributos de uma "boa" explicação recebem tantas críticas e conjeturas quanto tentativas de soluções.

De modo semelhante, se a nossa crítica no estágio 3 não fizer distinção entre teorias rivais, tentaremos inventar novos métodos de crítica. Se isso não funcionar, poderemos retroceder ao estágio 2 e tentar aguçar as soluções propostas (e teorias existentes) de forma a obter delas mais explicações e previsões e tornar mais fácil encontrar falhas nelas. Ou podemos mais uma vez retroceder ao estágio 1 e tentar encontrar melhores critérios para as explicações satisfazerem. E assim por diante.

Não somente há constante retrocesso, mas os muitos subproblemas permanecem simultaneamente ativos e são examinados de forma oportunista. Somente quando a descoberta está completa é que um argumento razoavelmente sequencial, com um padrão como o da Figura 3-3, pode ser apresentado. Pode começar com a versão mais recente e melhor do problema; depois pode mostrar como algumas das teorias rejeitadas falharam sob a crítica; então apresentar a teoria vencedora e dizer por que ela sobrevive à crítica; depois pode explicar como se lida com o problema sem a teoria superada; e finalmente pode indicar alguns dos novos problemas que esta descoberta cria ou permite que surjam.

Enquanto um problema ainda está no processo de ser solucionado, estamos lidando com um grande e heterogêneo conjunto de ideias, teorias e critérios, com muitas variações cada um, todos competindo pela sobrevivência. Há um contínuo revezamento de teorias à medida que elas são alteradas ou substituídas por novas. Portanto, todas as teorias estão sendo submetidas a variação e seleção, de acordo com os critérios que também

estão sujeitos a variações e seleção. O processo todo assemelha-se à evolução biológica. Um problema é semelhante a um nicho ecológico, e a teoria é semelhante a um gene ou espécie que está sendo testado quanto à viabilidade naquele nicho. Variantes de teorias, como mutações genéticas, são criadas continuamente e variantes menos bem-sucedidas tornam-se extintas quando as mais bem-sucedidas assumem. “Sucesso” é a capacidade de sobreviver repetidamente sob as pressões seletivas — a crítica — levadas à prova naquele nicho, e os critérios para a crítica dependem parcialmente das características físicas do nicho e parcialmente dos atributos de outros genes e espécies (isto é, outras ideias) que já estão presentes ali. A nova visão de mundo que pode estar implícita em uma teoria que soluciona um problema, e as características distintivas de uma nova espécie que ocupa um nicho, são propriedades emergentes do problema ou nicho. Em outras palavras, a obtenção de soluções é inerentemente complexa. Não existe uma maneira simples de descobrir a verdadeira natureza dos planetas, dada (digamos) uma crítica da teoria da esfera celestial e algumas observações adicionais, da mesma forma que não existe maneira simples de projetar o DNA de um urso coala, dadas as propriedades das árvores de eucalipto. Evolução, ou tentativa e erro — especialmente a forma focalizada e proposital de tentativa e erro denominada descoberta científica — são os únicos meios.

Por esse motivo, Popper chamou sua teoria de que o conhecimento só pode aumentar por conjetura e refutação, da maneira mostrada na Figura 3-3, de epistemologia evolutiva. Esta é uma importante percepção unificadora e veremos que há outras conexões entre esses dois elementos. Mas não quero exagerar as semelhanças entre descoberta científica e evolução biológica, pois existem também diferenças importantes. Uma delas é que em biologia as variações (mutações) são aleatórias, cegas e sem propósito, ao passo que na solução de problemas a criação de novas conjeturas é por si mesma um processo complexo e carregado de conhecimento, estimulado pelas intenções das pessoas envolvidas. Talvez uma diferença ainda mais importante seja que não existe equivalente biológico para o argumento. Todas as conjeturas têm de ser testadas experimentalmente, o que é um motivo para a evolução biológica ser mais vagarosa e menos eficiente por um fator astronomicamente grande. Contudo, a ligação entre os dois tipos de processo é muito mais do que mera analogia: elas são dois dos meus quatro “elementos principais” intimamente relacionados da explicação da estrutura da realidade.

Tanto na ciência quanto na evolução biológica o sucesso evolutivo

depende da criação e sobrevivência do conhecimento objetivo, que, em biologia, é chamado de adaptação. Isto é, a capacidade de uma teoria ou gene sobreviver em um nicho não á uma função fortuita da sua estrutura, mas depende de verdades suficientes e informações úteis sobre o nicho estarem implícita ou explicitamente codificadas ali. Falarei mais sobre isso no Capítulo 8.

Agora podemos começar a ver o que justifica as inferências que tiramos das observações. Nunca extraímos inferências somente de observações, mas observações podem se tornar significantes no decurso de um argumento quando revelam deficiências em algumas das explicações competidoras. Escolhemos uma teoria científica porque argumentos, somente uns poucos dos quais dependem de observações, nos convenceram (por enquanto) que as explicações oferecidas por todas as teorias rivais conhecidas são menos verdadeiras, menos amplas ou menos profundas.

Compare por um momento as Figuras 3.1 e 3-3. Veja como são diferentes essas duas concepções do processo científico. O indutivismo baseia-se em observação e previsão, ao passo que na realidade a ciência baseia-se em problema e explicação. O indutivismo supõe que as teorias são de alguma forma extraídas ou destiladas de observações, ou são justificadas por elas, ao passo que na verdade as teorias começam como conjeturas injustificadas na mente de alguém, as quais normalmente precedem as observações que excluem teorias rivais. O indutivismo procura justificar previsões como prováveis de ocorrer no futuro. A solução de problemas justifica uma explicação como sendo melhor que outras disponíveis no presente. O indutivismo é uma fonte perigosa e recorrente de muitos tipos de erros, porque é superficialmente bastante plausível. Mas não é verdadeiro.

Quando temos sucesso em solucionar um problema, científico ou de outro tipo, acabamos com um conjunto de teorias que, embora não sejam livres de problemas, consideramos preferíveis às teorias com que começamos.

Portanto, quais novos atributos as novas teorias terão, depende do que vimos como as deficiências das nossas teorias originais — isto é, do que era o problema. A ciência é caracterizada por seus problemas como também por seu método. Astrólogos que solucionam o problema de como calcular horóscopos mais intrigantes sem se arriscar que se prove estarem errados provavelmente não criaram muita coisa que mereça ser chamada de conhecimento científico, mesmo se tiverem usado métodos científicos

genuínos (como pesquisa de mercado) e estejam eles próprios muito satisfeitos com a solução. O problema na ciência autêntica é sempre entender algum aspecto da estrutura da realidade encontrando explicações tão amplas e profundas, tão verdadeiras e específicas quanto seja possível

Quando achamos que solucionamos um problema, naturalmente adotamos nosso novo conjunto de teorias em preferência ao antigo. É por isso que a ciência, considerada buscadora de explicações e solucionadora de problemas, não levanta o "problema da indução". Não há mistério em por que devemos nos sentir compelidos, tentativamente, a aceitar uma explicação quando ela é a melhor em que podemos pensar.

Terminologia Empregada no Capítulo

Solipsismo — A teoria de que existe apenas uma mente e de que o que parece ser realidade externa é somente um sonho ocorrendo nessa mente.

Problema da indução — Como as teorias científicas não podem ser logicamente justificadas pela observação, o que as justifica?

Indução — Um processo fictício pelo qual supõe-se que teorias gerais são obtidas de observações acumuladas ou justificadas por elas.

Problema — Um problema existe quando parece que algumas das nossas teorias, principalmente as explicações que elas contêm, parecem inadequadas e merecem uma tentativa de melhoria.

Crítica — A crítica racional compara teorias rivais com o objetivo de descobrir quais delas oferecem as melhores explicações de acordo com os critérios inerentes ao problema.

Ciência — O propósito da ciência é entender a realidade por meio de explicações. O método de crítica característico (embora não seja o único) utilizado em ciência é o teste experimental.

Teste experimental — Um experimento cujo resultado pode falsificar um ou mais conjuntos de teorias rivais.

Resumo

Em áreas fundamentais da ciência, as observações de efeitos cada vez mais sutis e sempre menores estão nos levando a conclusões cada vez mais importantes sobre a natureza da realidade. No entanto, essas conclusões não podem ser deduzidas pela lógica pura a partir de observações. Portanto, o que as torna convincentes? Este é o "problema da indução". De acordo com o indutivismo, as teorias científicas são descobertas pela extrapolação dos resultados das observações e justificadas quando são obtidas observações corroborativas. Na verdade, o raciocínio indutivo não é válido e é impossível

extrapolar observações, a não ser que já se tenha um quadro explicativo para elas. Mas a refutação do indutivismo, e também a real solução do problema da indução, depende de se reconhecer que a ciência é um processo não de derivar previsões das observações, mas de encontrar explicações. Buscamos explicações quando encontramos um problema com aquelas existentes. Embarcamos então em um processo de solução de problema. Novas teorias explicativas começam como conjeturas injustificadas, que são criticadas e comparadas de acordo com os critérios inerentes ao problema. As que não sobrevivem a essa crítica são abandonadas. As sobreviventes tornam-se as novas teorias predominantes, algumas das quais são, por si mesmas, problemáticas e portanto nos levam a procurar explicações ainda melhores. O processo todo assemelha-se à evolução biológica.

Deste modo, adquirimos cada vez mais conhecimento da realidade solucionando problemas e encontrando explicações melhores. Mas quando tudo é dito e feito, problemas e explicações são localizados na mente humana, que deve seu poder de raciocínio a um cérebro falível e seu suprimento de informações a sentidos falíveis. Então, o que autoriza uma mente bumana a tirar conclusões sobre a realidade externa e objetiva da sua própria experiência e raciocínio puramente subjetivos?

4 Critérios de Realidade

O grande físico Galileu Galilei, que, discutivelmente, foi também o primeiro físico no sentido moderno, fez muitas descobertas, não somente na própria física, mas também na metodologia da ciência. Ele reviveu e aperfeiçoou o antigo conceito de expressar matematicamente as teorias gerais sobre a natureza, desenvolvendo o método do teste experimental sistemático que caracteriza a ciência como a conhecemos. Habilmente, chamou esses testes de cimenti ou "provações". Foi um dos primeiros a usar telescópios para estudar objetos celestes e coletou e analisou evidências a favor da teoria heliocêntrica, a de que a Terra se move em órbita ao redor do Sol e gira sobre seu próprio eixo. Galileu é mais conhecido pela defesa dessa teoria e pelos amargos conflitos com a Igreja, aos quais sua defesa o conduziu. Em 1633, a Inquisição o julgou por heresia e, sob ameaça de tortura, o obrigou a se ajoelhar e ler em voz alta uma longa e abjeta retratação que dizia que ele "abjurava, amaldiçoava e detestava" a teoria heliocêntrica. (A lenda diz, provavelmente de forma incorreta, que quando se pôs de pé, murmurou as palavras "eppursi muove...", significando "não obstante, ela se move...".) Apesar de suas retratações, ele foi condenado e sentenciado à prisão domiciliar, sob a qual permaneceu pelo resto de sua vida. Embora essa punição fosse comparativamente suave, alcançou seu objetivo belamente. Jacob Bronowski a descreve assim:

O resultado foi o silêncio entre os cientistas católicos em toda parte daquela ocasião em diante. O efeito do julgamento e do aprisionamento foi determinar uma parada total na tradição científica do Mediterrâneo. (The Ascent of Man, p. 218)

Como podia uma disputa sobre o arranjo do sistema solar ter consequências tão abrangentes e por que os participantes a perseguiram tão apaixonadamente? Porque a verdadeira disputa não era sobre se o sistema solar tinha certa disposição e não outra: era sobre a brilhante defesa de Galileu de uma nova e perigosa maneira de pensar sobre a realidade. Sobre a existência da realidade, tanto Galileu quanto a Igreja acreditavam no realismo, a visão de senso comum de que um universo físico externo realmente existe e afeta nossos sentidos, inclusive sentidos ampliados por instrumentos como telescópios. No que Galileu diferia era em seu conceito do relacionamento entre a realidade física por um lado, e ideias, observações

e raciocínio humanos por outro. Ele acreditava que o universo podia ser entendido em termos de leis universais matematicamente formuladas e que o conhecimento confiável dessas leis era acessível a seres humanos, se aplicassem o seu método de formulação matemática e testes experimentais sistemáticos. Como ele disse, “o Livro da Natureza está escrito com símbolos matemáticos”. Isso era uma comparação consciente com aquele outro Livro, no qual era mais convencional confiar.

Galileu entendeu que, se o seu método fosse realmente confiável, onde quer que fosse aplicável, suas conclusões teriam de ser preferíveis às obtidas por qualquer outro método. Portanto, insistiu que o raciocínio científico tinha precedência não apenas sobre a intuição e o bom senso, mas também sobre a doutrina religiosa e a revelação. Foi especificamente essa ideia, e não a teoria heliocêntrica como tal, que as autoridades consideraram perigosa. (E elas estavam certas, pois se alguma ideia pode ser dita como iniciadora da revolução científica e do Iluminismo, e como tendo fornecido o fundamento secular da civilização moderna, foi essa.) Era proibido “sustentar ou defender” a teoria heliocêntrica como uma explicação da aparência do céu noturno. Mas usar essa teoria, escrever sobre ela, mantê-la “como uma suposição matemática” ou defendê-la como um método de fazer previsões era permitido. Foi por isso que o livro de Galileu Dialogue of the Two Chief World Systems, que comparava a teoria heliocêntrica com a teoria geocêntrica oficial, havia sido liberado para impressão pelos censores da Igreja. O papa tinha até consentido antecipadamente que Galileu escrevesse esse livro (embora no julgamento tenha sido produzido um documento enganoso, alegando que Galileu havia sido proibido de discutir a questão).

E uma nota histórica interessante que na época de Galileu ainda não era indiscutível que a teoria heliocêntrica proporcionava melhores previsões do que a geocêntrica. As observações disponíveis não eram muito exatas. Modificações “ad hoc” haviam sido propostas para melhorar a exatidão da teoria geocêntrica e era difícil quantificar os poderes de previsão das duas teorias rivais. Além disso, no que diz respeito a detalhes, há mais do que uma teoria heliocêntrica. Galileu acreditava que os planetas se movem em círculos, quando na verdade suas órbitas são quase elipses. Portanto, os dados também não se adaptavam à teoria heliocêntrica particular que Galileu defendia. (O que pode ser dito por ele ter sido convencido por observações acumuladas!) Mas, apesar de tudo, a Igreja não assumiu posição nessa controvérsia. A Inquisição não se importava com onde os planetas pareciam

estar; eles se preocupavam era com a realidade. Preocupavam-se com onde os planetas realmente estavam e queriam entendê-los por meio de explicações, da mesma forma que Galileu. Instrumentalistas e positivistas diriam que como a Igreja estava desejando perfeitamente aceitar as previsões observacionais de Galileu, maiores argumentações entre eles eram fora de propósito, e que seu murmúrio “eppursi muovè' era estritamente sem sentido. Mas Galileu sabia mais e também a Inquisição. Quando eles negaram a confiabilidade do conhecimento científico, era precisamente a parte explicativa desse conhecimento que tinham em mente.

Sua visão de mundo era falsa, mas não ilógica. Reconhecidamente eles acreditavam na revelação e na autoridade tradicional como fontes de conhecimento confiável. Mas também tinham uma razão independente para criticar a confiabilidade do conhecimento obtido pelos métodos de Galileu. Eles podiam simplesmente indicar que nenhuma quantidade de observações ou de argumentos poderia provar que uma explicação de um fenômeno físico é verdadeira e outra é falsa. Como eles diriam, Deus podia criar os mesmos efeitos observados em uma infinidade de maneiras diferentes, portanto seria pura vaidade e arrogância alegar possuir uma maneira de saber, meramente por meio da própria observação e raciocínio falíveis, qual maneira Ele havia escolhido.

Até certo ponto, eles argumentavam meramente por modéstia, pelo reconhecimento da falibilidade humana. E se Galileu afirmava que a teoria heliocêntrica estava de alguma forma provada, ou quase isso, em um sentido indutivo, eles tinham razão. Se Galileu pensou que seus métodos poderiam conferir a qualquer teoria uma autoridade comparável àquela que a Igreja reclamava para suas doutrinas, eles estavam certos em criticá-lo como arrogante (ou, como eles diriam, blasfemo), embora, é claro, pelo mesmo padrão eles fossem muito mais arrogantes.

Então, como podemos defender Galileu contra a Inquisição? Qual deveria ser sua defesa em face dessa acusação de pretender demais quando afirmou que suas teorias científicas continham conhecimento confiável da realidade? A defesa popperiana da ciência como um processo de solução de problemas e busca de explicação não é suficiente por si mesma. Pois a Igreja também estava principalmente interessada em explicações e não em previsões e desejava muito deixar Galileu solucionar problemas usando qualquer teoria que escolhesse. Apenas aconteceu que eles não aceitaram que as soluções de Galileu (que chamavam de meras “hipóteses matemáticas”) tivessem

qualquer relação com a realidade externa. Afinal, a solução de problemas é um processo que ocorre inteiramente dentro da mente humana. Galileu pode ter visto o mundo como um livro no qual as leis da natureza estão escritas com símbolos matemáticos. Mas isso é estritamente uma metáfora; não há explicações em órbita lá fora com os planetas. O fato é que todos os nossos problemas e soluções estão localizados dentro de nós mesmos, tendo sido criados por nós mesmos. Quando solucionamos problemas em ciência, chegamos, por meio de argumentos, a teorias cujas explicações nos parecem melhores. Portanto, de nenhuma maneira negando que é certo, apropriado e útil para nós solucionar problemas, a Inquisição e os céticos modernos poderiam legitimamente perguntar o que a solução científica de problemas tem a ver com a realidade. Podemos achar nossas "melhores explicações" psicologicamente satisfatórias. Podemos achar que são úteis para fazer previsões. Certamente podemos achar que elas são essenciais em todas as áreas da criatividade tecnológica. Tudo isso justifica continuarmos a buscá-las e a usá-las dessa maneira. Mas por que deveríamos ser obrigados a aceitá-las como fato? A proposição que a Inquisição forçou Galileu a endossar era realmente esta: que a Terra de fato está em repouso, com o Sol e os planetas em movimento ao redor dela; mas que os caminhos percorridos por esses corpos astronômicos são dispostos de maneira complexa que, quando vista do ponto favorável da Terra, também é consistente com o Sol estar em repouso e a Terra e os planetas em movimento. Vou chamar isso de "teoria da Inquisição" do sistema solar. Se a teoria da Inquisição fosse verdadeira, ainda deveríamos esperar que a teoria heliocêntrica fizesse previsões exatas dos resultados de todas as observações astronômicas baseadas na Terra, embora fosse efetivamente falsa. Pareceria, portanto, que quaisquer observações que parecessem apoiar a teoria heliocêntrica emprestassem igual apoio à teoria da Inquisição.

Poderíamos estender a teoria da Inquisição para considerar observações mais detalhadas que apoiem a teoria heliocêntrica, como as observações das fases de Vênus e dos pequenos movimentos adicionais (chamados "movimentos próprios") de algumas estrelas em relação à esfera celestial. Para fazer isso, teríamos de postular manobras ainda mais complexas no espaço, governadas por leis da física muito diferentes daquelas que operam na nossa supostamente estacionária Terra. Mas elas seriam diferentes precisamente de forma a continuar observacionalmente consistentes com o fato de a Terra estar em movimento e as leis serem lá fora as mesmas que são

aqui. Muitas dessas teorias são possíveis. Na verdade, se fazer as previsões certas fosse nossa única restrição, poderíamos inventar teorias que dissessem que qualquer coisa que quiséssemos está acontecendo no espaço. Por exemplo, observações apenas nunca podem excluir a teoria de que a Terra está encerrada em um planetário gigantesco nos mostrando uma simulação de um sistema solar heliocêntrico; e que fora do planetário existe qualquer coisa que você queira ou absolutamente nada. Reconhecidamente, para levar em conta as observações atuais, o planetário teria também de redirecionar o nosso radar e pulsos de laser, capturar nossas sondas espaciais e levar até astronautas, enviar de volta mensagens falsas deles e trazê-los de volta com amostras de rochas lunares adequadas, memórias alteradas e assim por diante. Pode ser uma teoria absurda, mas a questão é que ela não pode ser excluída por experimentos. Nem é válido excluir qualquer teoria exclusivamente com a condição de ela ser "absurda": a Inquisição, juntamente com a maior parte da raça humana na época de Galileu, achava o exemplo máximo do absurdo alegar que a Terra se movia. Afinal, não podemos senti-la se movendo, podemos? Quando ela realmente se move, como em um terremoto, sentimos isso inequivocamente. Diz-se que Galileu retardou defender publicamente a teoria heliocêntrica por alguns anos, não por medo da Inquisição, mas simplesmente por medo do ridículo.

Para nós, a teoria da Inquisição parece irremediavelmente inventada. Por que deveríamos aceitar uma explicação tão complicada e "ad hoc" para o céu ter a aparência que tem, quando a cosmologia heliocêntrica sem adornos faz a mesma coisa com menos espalhafato? Podemos citar o princípio da navalha de Occam: "não multiplique entidades além do necessário" — ou, como prefiro colocar, "não complique as explicações além do necessário", porque, se o fizer, as próprias complicações desnecessárias continuarão inexplicadas. Entretanto, se uma explicação é ou não "inventada" ou "desnecessariamente complicada", depende de todas as outras ideias e explicações que constituem nossa visão de mundo. A Inquisição teria argumentado que a ideia de a Terra se mover é uma complicação desnecessária. Ela contradiz o bom senso; contradiz as Escrituras e (teriam dito) existe uma explicação perfeitamente boa que funciona sem ela.

Mas existe? A teoria da Inquisição realmente oferece explicações alternativas sem ter de introduzir a "complicação" contra intuitiva do sistema heliocêntrico? Vamos examinar mais de perto como a teoria da Inquisição explica as coisas. Ela explica a aparente imobilidade da Terra dizendo que ela

é imóvel. Até aqui, tudo bem. Diante disso, essa explicação é melhor do que a de Galileu, pois ele tinha de trabalhar muito e contradizer algumas noções do senso comum de força e inércia para explicar por que não sentimos que a Terra se move. Mas como a teoria da Inquisição lida com a tarefa mais difícil de explicar os movimentos planetários?

A teoria heliocêntrica os explica dizendo que os planetas são vistos movendo-se em órbitas complicadas através do céu porque na verdade estão se movendo em círculos simples (ou elipses) no espaço, mas a Terra também está se movendo. A explicação da Inquisição é que os planetas são vistos movendo-se em órbitas complicadas porque estão realmente se movendo em órbitas complicadas no espaço; mas (e aqui, de acordo com a teoria da Inquisição, vem a essência da explicação), esse movimento complicado é governado por um princípio subjacente simples, isto é, que os planetas se movem de tal maneira que, quando vistos da Terra, aparecem exatamente como apareceriam se eles e a Terra estivessem em órbitas simples ao redor do Sol.

Para entender os movimentos planetários nos termos da teoria da Inquisição, é essencial que se entenda esse princípio, pois as restrições que ele impõe são a base de todas as explicações detalhadas que se pode criar sob a teoria. Por exemplo, se nos fosse perguntado por que ocorreu uma conjunção planetária em tal data, ou por que um planeta retrocedeu pelo céu em uma órbita com determinada forma, a resposta seria sempre “porque é assim que pareceria se a teoria heliocêntrica fosse verdadeira”. Portanto, aqui está uma cosmologia — a da Inquisição — que pode ser entendida somente em termos de uma cosmologia diferente, a cosmologia heliocêntrica que ela contradiz mas imita fielmente.

Se a Inquisição tivesse tentado seriamente entender o mundo nos termos da teoria que eles tentaram forçar sobre Galileu, também teriam entendido sua fraqueza fatal, isto é, que ela falha na tentativa de solucionar o problema que pretende resolver. Ela não explica os movimentos planetários “sem precisar apresentar a complicação do sistema heliocêntrico”. Ao contrário, ela inevitavelmente incorpora esse sistema como parte de seu próprio princípio para explicar os movimentos planetários. Não podemos entender o mundo por meio da teoria da Inquisição, a não ser que entendamos primeiro a teoria heliocêntrica.

Portanto, estamos certos em considerar a teoria da Inquisição como uma elaboração conduta da teoria heliocêntrica, e não vice-versa. Chegamos a esta

conclusão não julgando a teoria da Inquisição contra a cosmologia moderna, o que teria sido um argumento circular, mas insistindo em levar a sério a teoria da Inquisição em seus próprios termos, como uma explicação do mundo. Mencionei a teoria da cura pela grama, que pode ser excluída sem testes experimentais porque não contém explicação. Aqui temos uma teoria que também pode ser excluída sem testes experimentais, porque contém uma explicação ruim — que, em seus próprios termos, é pior do que a sua rival.

Como eu disse, a Inquisição era realista, embora sua teoria tenha isto em comum com o solipsismo: os dois traçam um limite arbitrário além do qual, alegam, a razão humana não tem acesso — ou, pelo menos, além do qual a solução de problemas não é um caminho para o entendimento. Para os solipsistas, o limite inclui seus próprios cérebros ou talvez apenas suas mentes abstratas ou almas incorpóreas. Para a Inquisição, ele encerrava a Terra inteira. Alguns criacionistas de hoje acreditam em um limite semelhante, não no espaço, mas no tempo, pois creem que o universo foi criado apenas seis mil anos atrás, completo e com evidências ilusórias de eventos anteriores. O behaviorismo é a doutrina que diz que não tem sentido explicar o comportamento humano em termos de processos mentais interiores. Para os behavioristas, a única psicologia legítima é o estudo das respostas observáveis das pessoas a estímulos externos. Assim, eles traçam exatamente o mesmo limite que os solipsistas, separando a mente humana da realidade externa, mas, enquanto os solipsistas negam que haja sentido em raciocinar sobre qualquer coisa fora desse limite, os behavioristas negam que tem sentido raciocinar sobre qualquer coisa dentro dele.

Há uma grande classe de teorias relacionadas aqui, mas podemos considerá-las como variantes do solipsismo. Elas diferem sobre onde traçam o limite da realidade (ou o limite daquela parte da realidade que é compreensível por meio da solução de problemas) e também sobre se e como buscam o conhecimento fora desse limite. Mas todas elas consideram a racionalidade científica e outras soluções de problemas como inaplicáveis fora do limite — meramente um jogo. Elas poderiam admitir que pode ser um jogo satisfatório e útil, mas, não obstante é apenas um jogo do qual não pode ser tirada nenhuma conclusão válida sobre a realidade de fora.

Elas são semelhantes também em sua objeção básica à solução de problemas como um meio de criar conhecimento, a saber, que ela não deduz suas conclusões de nenhuma fonte definitiva de justificação. Dentro dos respectivos limites que escolhem, os partidários de todas essas teorias contam

com a metodologia da solução de problemas, confiantes em que a busca da melhor explicação possível é também um meio para encontrar as teorias disponíveis mais verdadeiras. Mas para a verdade do que está fora desses limites, eles olham para outra parte e o que todos eles buscam é uma fonte de justificações definitivas. Para pessoas religiosas, a revelação divina pode representar esse papel. Os solipsistas confiam somente na experiência direta dos seus próprios pensamentos, como foi expresso no clássico argumento de René Descartes, cogito ergo sum (“Penso, logo existo”).

Apesar do desejo de Descartes de basear sua filosofia nessa base supostamente firme, ele realmente permitiu a si mesmo muitas outras suposições e certamente não era solipsista. Na verdade, deve ter havido muito poucos solipsistas na história, se é que houve algum. O solipsismo normalmente é defendido somente como um meio de atacar o raciocínio científico ou como meio de alcançar uma das suas muitas variações. Pelo mesmo motivo, um bom meio de defender a ciência contra uma variedade de críticas e de entender o verdadeiro relacionamento entre a razão e a realidade é considerar o argumento contra o solipsismo.

Há uma piada filosófica padrão sobre um professor que dá uma palestra em defesa do solipsismo. A conferência é tão persuasiva que logo que termina vários estudantes entusiasmados correm para apertar a mão do professor. “Maravilhoso. Concordo com cada palavra”, diz um estudante seriamente. “Eu também”, diz o outro. “Sinto-me gratificado ao ouvir isso”, diz o professor. “Raramente se tem oportunidade de encontrar colegas solipsistas.”

Essa piada tem um argumento implícito contra o solipsismo. Poderíamos colocá-lo desta forma: O que exatamente era a teoria com a qual os estudantes da história concordavam? Era a teoria do professor, que eles mesmos não existiam porque somente o professor existia? Para acreditar nisso, eles deveriam primeiramente ter encontrado algum meio de contornar o argumento de Descartes, cogito ergo sum. E se conseguissem isso, não seriam solipsistas, pois a tese central do solipsismo é que o solipsista existe. Ou cada estudante foi persuadido de uma teoria contraditória com a do professor, a teoria de que aquele determinado estudante existe, mas o professor e os outros estudantes não? Isso realmente tornaria todos eles solipsistas, mas nenhum deles estaria concordando com a teoria que o professor defendia. Portanto, nenhuma dessas duas possibilidades é equivalente ao fato de os estudantes terem sido persuadidos pela defesa do

solipsismo pelo professor. Se eles adotassem a opinião do professor, não seriam solipsistas e, caso se tornassem solipsistas, teriam de se convencer que o professor estava errado.

O argumento tenta mostrar que o solipsismo é literalmente indefensável, porque, aceitando essa defesa, implicitamente a contradizemos. Mas o nosso professor solipsista poderia tentar evadir esse argumento dizendo alguma coisa como: “Eu posso e defendo consistentemente o solipsismo. Não contra outras pessoas, pois não existem outras pessoas, mas contra argumentos contrários. Esses argumentos chamaram a minha atenção por meio de pessoas de sonho, que se comportam como se fossem seres pensantes cujas ideias muitas vezes se opõem às minhas. Minha palestra e os argumentos que ela contém não pretenderam persuadir essas pessoas de sonho, mas a mim mesmo — para ajudar a clarear minhas ideias”.

Entretanto, se existem fontes de ideias que se comportam como se fossem independentes da própria pessoa, então elas necessariamente são independentes da própria pessoa. Pois, se eu defino “eu mesmo” como a entidade consciente que tem os pensamentos e sentimentos que percebo ter, as “pessoas de sonho” com as quais parece que interajo são, por definição, alguma coisa diferente daquele eu estreitamente definido e, portanto, devo admitir que existe alguma coisa além de mim mesmo. Minha outra opção, se eu fosse um solipsista comprometido, seria considerar as pessoas de sonho como criações da minha mente inconsciente e, portanto, como parte de “eu mesmo” em um sentido mais amplo. Mas eu deveria ser obrigado a admitir que “eu mesmo” tivesse uma estrutura muito rica, a maior parte dela independente do meu eu consciente. Dentro dessa estrutura há entidades — pessoas de sonho — que, apesar de serem meros constituintes da mente de um suposto solipsista, comportam-se exatamente como se fossem tznh-solipsistas comprometidos. Portanto, eu não poderia chamar a mim mesmo de completo solipsista, pois apenas meu eu estreitamente definido teria essa visão. Muitas — aparentemente a maioria — das opiniões mantidas na minha mente como um todo seriam contrárias ao solipsismo. Eu poderia estudar a região “externa” do meu eu e descobrir que ela parece obedecer a certas leis, as mesmas leis que os livros de texto de sonho dizem ser aplicáveis ao que eles chamam de universo físico. Eu descobriria que existe muito mais da região externa do que da interna. Além de conter mais ideias, ela é também mais complexa, mais diversa e tem mais variáveis mensuráveis, por um fator literalmente astronômico, do que a região interna.

Além disso, essa região externa é acessível ao estudo científico com o emprego dos métodos de Galileu. Como agora sou forçado a definir essa região como parte de mim mesmo, o solipsismo não tem mais nenhum argumento contra a validade de tal estudo, que agora é definido como nada mais do que uma forma de introspecção. O solipsismo permite, na verdade aceita, que o conhecimento de si mesmo pode ser obtido por meio da introspecção. Não pode declarar que as entidades e processos estudados sejam irreais, pois a realidade do eu é seu postulado básico.

Assim, vemos que, se levarmos o solipsismo a sério — se aceitarmos que ele é verdadeiro e que todas as explicações válidas devem se conformar a ele escrupulosamente — ele se autodestruirá. Como, exatamente, o solipsismo levado a sério difere do seu rival do senso comum, o realismo? A diferença baseia-se em não mais que um esquema de mudança de nome. O solipsismo insiste em se referir a coisas objetivamente diferentes (como a realidade externa e minha mente inconsciente, ou introspecção e observação científica) com os mesmos nomes. Mas ele precisa reapresentar a distinção por meio de explicações em termos de alguma coisa como “a parte exterior de mim mesmo”. Mas essas explicações extras não seriam necessárias sem a sua insistência em um esquema inexplicável de troca de nomes. O solipsismo precisa também postular a existência de uma classe adicional de processos — processos invisíveis, inexplicáveis, que dão à mente a ilusão de viver em uma realidade externa. O solipsista, que acredita que nada existe exceto o conteúdo de uma mente, deve também acreditar que essa mente é um fenômeno de maior multiplicidade do que normalmente se supõe. Ela contém pensamentos semelhantes aos de outras pessoas, pensamentos semelhantes a planetas e pensamentos semelhantes a leis da física. Esses pensamentos são reais. Desenvolvem-se de uma forma complexa (ou fingem fazer isso) e têm autonomia suficiente para surpreender, desapontar, esclarecer ou frustrar aquela outra classe de pensamentos que chamam a si mesmos de “eu”. Assim, a explicação do solipsista sobre o mundo é feita em termos de pensamentos interativos em vez de objetos interativos. Mas esses pensamentos são reais e interagem de acordo com as mesmas regras que o realista diz que governam a interação de objetos. Desta forma, o solipsismo, longe de ser uma visão de mundo despida até de seus princípios básicos, na verdade é apenas realismo disfarçado e sobrecarregado por suposições adicionais desnecessárias — bagagem sem valor, introduzida apenas para dar satisfação.

Por esse argumento, podemos descartar o solipsismo e todas as teorias relacionadas. Elas são indefensáveis. Incidentalmente, já rejeitamos uma visão de mundo por estas razões, a saber, o positivismo (a teoria de que todas as declarações exceto as que descrevem ou preveem observações não têm significado). Como comentei no Capítulo 1, o positivismo sustenta sua própria falta de significância e, portanto, não pode ser defendido consistentemente.

Portanto podemos continuar, com nova segurança, com o realismo de bom senso e a busca da explicação por métodos científicos. Mas à luz desta conclusão, o que podemos dizer sobre os argumentos que tornaram o solipsismo e seus parentes superficialmente plausíveis, isto é, que eles não poderiam ser provados como falsos nem excluídos pelo experimento? Qual é o "status" desses argumentos agora? Se nós nem provamos que o solipsismo é falso nem o excluímos pelo experimento que fizemos.

Há uma suposição nessa pergunta. É que as teorias podem ser classificadas em uma hierarquia, "matemática" —> "científica" —> "filosófica", de confiabilidade intrínseca decrescente. Muitas pessoas aceitam essa hierarquia como verdadeira, apesar de esses julgamentos de confiabilidade comparativa dependerem inteiramente de argumentos filosóficos, os quais se classificam como muito incertos! Na verdade, o conceito dessa hierarquia é primo do erro reducionista que discuti no Capítulo 1 (a teoria de que leis e fenômenos microscópicos são mais fundamentais do que os emergentes). A mesma suposição ocorre no indutivismo, que supõe que podemos estar absolutamente certos das conclusões dos argumentos matemáticos porque eles são dedutivos, razoavelmente certos dos argumentos científicos porque são "indutivos" e para sempre incertos dos argumentos filosóficos, que ele considera como pouco mais do que uma questão de gosto.

Mas nada disso é verdade. As explicações não são justificadas pelos meios pelos quais foram derivadas; são justificadas por sua capacidade superior, em relação a explicações rivais, de solucionar os problemas dos quais tratam. É por isso que o argumento de que uma teoria é indefensável pode ser tão forte. Uma previsão, ou qualquer afirmação, que não pode ser defendida ainda pode ser verdadeira, mas uma explicação que não pode ser defendida não é uma explicação. A rejeição de "meras" explicações com base no fato de elas não serem justificadas por nenhuma explicação definitiva inevitavelmente nos leva a buscas fúteis por uma fonte definitiva de

justificação. Essa fonte não existe.

Também não existe essa hierarquia de confiabilidade de argumentos matemáticos para científicos e para filosóficos. Alguns argumentos filosóficos, inclusive contra o solipsismo, são muito mais fortes do que qualquer argumento científico. Na verdade, todo argumento científico pressupõe a falsidade não apenas do solipsismo, mas também de outras teorias filosóficas, incluindo qualquer número de variações do solipsismo que possam contradizer partes específicas do argumento científico. Vou mostrar também (no Capítulo 10) que até mesmo argumentos puramente matemáticos derivam sua confiabilidade de teorias físicas e filosóficas que os sustentam e portanto que não podem, afinal, produzir certeza absoluta.

Tendo adotado o realismo, estamos continuamente tendo de decidir se as entidades referidas em explicações competidoras são reais ou não. Decidir que elas não são reais — como fizemos no caso da teoria “angelical” do movimento planetário — é equivalente a rejeitar a explicação correspondente. Assim, ao buscar e julgar explicações, precisamos mais do que apenas uma refutação do solipsismo. Precisamos desenvolver raciocínios para aceitar ou rejeitar a existência de entidades que podem aparecer em teorias competidoras; em outras palavras, precisamos de um critério para a realidade. Naturalmente, não devemos esperar encontrar um critério final ou infalível. Nossos julgamentos do que é ou não é real sempre dependem das várias explicações disponíveis e às vezes mudam à medida que nossas explicações melhoram. No século XIX, poucas coisas teriam sido consideradas mais seguramente reais do que a força da gravidade. Não somente ela figurava no sistema de leis de Newton, então sem rival, mas todos podiam senti-la o tempo todo, mesmo com os olhos fechados — ou assim pensavam. Hoje entendermos a gravidade por meio da teoria de Einstein no lugar da de Newton e sabemos que essa força não existe. Nós não a sentimos! O que sentimos é a resistência que nos impede de penetrar no chão sólido sob nossos pés. Nada está nos puxando para baixo. O único motivo de cairmos para baixo quando não temos apoio é que a estrutura do espaço e tempo na qual existimos é curva.

Não somente as explicações mudam, mas nossos critérios e conceitos sobre o que deve contar como explicação também estão gradualmente mudando (melhorando). Portanto, a lista de modos aceitáveis de explicação sempre será ilimitada e, Consequentemente, a lista de critérios aceitáveis para a realidade também será. Mas o que há a respeito de uma explicação — dado

que, por quaisquer motivos, a achemos satisfatória — que nos faz classificar algumas coisas como reais e outras como ilusórias ou imaginárias?

James Boswell relata em seu Life of Johnson como ele e o Dr. Johnson estavam discutindo a teoria solipsista do bispo Berkeley da não existência do mundo material. Boswell comentou que, embora ninguém acreditasse na teoria, também ninguém podia refutá-la. O Dr. Johnson chutou uma grande pedra e disse, enquanto seu pé ricocheteava: “Eu a refuto assim". O ponto do Dr. Johnson era que a negação de Berkeley da existência da rocha é incompatível com encontrar uma explicação para o ricochete que ele mesmo sentiu. O solipsismo não pode acomodar nenhuma explicação sobre por que esse experimento — ou qualquer experimento — deveria ter um resultado em vez de outro. Para explicar o efeito que a pedra teve sobre ele, o Dr. Johnson foi obrigado a assumir uma posição sobre a natureza das pedras. Eram elas parte de uma realidade externa autônoma ou criações da sua imaginação? No último caso, ele teria de concluir que “sua própria imaginação” era um universo vasto, complexo e autônomo. O mesmo dilema confrontou o professor solipsista que, pressionado a dar explicações, seria forçado a assumir uma posição sobre a natureza da sua audiência. E a Inquisição precisaria ter assumido uma posição sobre a origem da regularidade subjacente do movimento dos planetas, uma regularidade explicável somente por referência à teoria heliocêntrica. Para todas essas pessoas, assumir sua posição seriamente como explicação do mundo levaria diretamente ao realismo e à racionalidade galileana.

Mas a ideia do Dr. Johnson é mais do que uma refutação do solipsismo. Ela também ilustra o critério de realidade usado em ciência, isto é, se alguma coisa pode chutar de volta, ela existe. “Chutar de volta” aqui não significa necessariamente que o objeto citado responda ao ser chutado — ao ser fisicamente afetado, como foi a pedra do Dr. Johnson. É suficiente que, quando “chutamos” alguma coisa, o objeto nos afete de maneiras que requeiram explicação independente. Por exemplo, Galileu não tinha meios de afetar os planetas, mas podia afetar a luz que vinha deles. Seu equivalente de chutar a pedra era refratar essa luz através das lentes dos seus telescópios e olhos. Essa luz respondia “chutando de volta” em sua retina. A maneira como ela chutava de volta permitiu que ele concluísse não apenas que a luz era real, mas que os movimentos planetários heliocêntricos requeridos para explicar os padrões com que a luz chegava também eram reais.

A propósito, o Dr. Johnson não chutou a pedra diretamente. Uma pessoa

é uma mente, não um corpo. O Dr. Johnson que executou o experimento era uma mente e essa mente "chutou" diretamente apenas alguns nervos, que transmitiram sinais a músculos os quais impeliram seu pé em direção à pedra. Pouco depois o Dr. Johnson percebeu estar sendo "chutado de volta" pela pedra, mas outra vez apenas indiretamente, depois que o impacto exerceu um padrão de pressão em seu sapato, então em sua pele, e levou a impulsos elétricos em seus nervos e assim por diante. A mente do Dr. Johnson, como a de Galileu e de todas as outras pessoas, "chutou" nervos e "foi chutada de volta" por nervos e inferiu a existência e as propriedades da realidade a partir apenas dessas interações. O que o Dr. Johnson podia inferir sobre a realidade depende de como ele poderia explicar melhor o que havia acontecido. Por exemplo, se a sensação tivesse parecido depender somente do comprimento da sua perna e não de fatores externos, ele provavelmente teria concluído que era uma propriedade da sua perna, ou somente da sua mente. Ele poderia estar sofrendo de uma doença que lhe desse uma sensação de ricochete sempre que estendesse a perna de determinado jeito. Mas na verdade o ricochete depende do que a pedra fez, como estar em determinado lugar, que, por sua vez, se relacionava com outros efeitos que a pedra tinha, como ser vista ou afetar outras pessoas que a chutassem. O Dr. Johnson percebeu que esses efeitos eram autônomos (independentes dele mesmo) e muito complicados. Portanto, a explicação realista da causa de a pedra produzir a sensação de ricochete envolve uma história complicada sobre alguma coisa autônoma. Mas a explicação do solipsista também. Na verdade, qualquer explicação que dê conta do fenômeno do ricochete do pé é necessariamente uma "história complicada sobre alguma coisa autônoma". Ela deve, com efeito, ser a história da pedra. O solipsista a chamaria de pedra de sonho, mas desconsiderando essa asserção, a história do solipsista e do realista poderiam compartilhar o mesmo roteiro.

Minha discussão sobre sombras e universos paralelos do Capítulo 2 girou em torno de questões sobre o que existe e o que não existe, e implicitamente sobre o que deveria ou não contar como evidência da existência. Usei o critério do Dr. Johnson. Considere novamente o ponto X na tela da Figura 2.7, que fica iluminado quando somente duas fendas estão abertas, mas escuro quando outras duas são abertas. Eu disse que é uma conclusão "inevitável" que alguma coisa deve vir do segundo par de fendas para impedir que a luz do primeiro par atinja X. Não é logicamente inevitável, pois se não estivéssemos procurando explicações poderíamos

apenas dizer que os fótons que vemos se comportam como se alguma coisa passando pelas outras fendas os tivesse defletido, mas que na verdade não há nada lá. De modo semelhante, o Dr. Johnson poderia ter dito que seu pé ricocheteou como se uma pedra estivesse ali, mas na verdade não havia nada lá. A Inquisição disse que os planetas eram vistos em movimento como se eles e a Terra estivessem em órbita ao redor do Sol, mas, na verdade, eles se moviam ao redor da Terra fixa. Mas se o objetivo do exercício é explicar o movimento dos planetas, ou o dos fótons, temos de fazer como o Dr. Johnson. Temos de adotar uma regra metodológica que diz que, se alguma coisa se comporta como se existisse, chutando de volta, então se considera isto uma evidência de que ela existe. Fótons sombras chutam de volta interferindo nos fótons que vemos e, portanto, os fótons sombras existem.

Podemos da mesma forma concluir a partir do critério do Dr. Johnson que "os planetas se movem como se fossem empurrados por anjos; portanto os anjos existem"? Não, mas somente porque temos uma explicação melhor. A teoria dos anjos sobre o movimento planetário não é totalmente desprovida de mérito. Ela explica por que os planetas se movem independentemente da esfera celestial, o que realmente a torna superior ao solipsismo. Mas ela não explica por que os anjos deveriam empurrar os planetas ao longo de um conjunto de órbitas em vez de outro ou, particularmente, por que eles deveriam empurrá-los como se o seu movimento fosse determinado por uma curvatura do espaço e tempo, como é especificado em cada detalhe pelas leis universais da teoria da relatividade geral. É por isso que a teoria dos anjos não pode competir, como explicação, com as teorias da física moderna.

De modo semelhante, postular que os anjos atravessam as outras fendas e defletem nossos fótons seria melhor que nada. Mas podemos fazer melhor que isso. Sabemos exatamente como esses anjos teriam de se comportar: de modo muito parecido com fótons. Portanto, temos uma escolha entre uma explicação em termos de anjos invisíveis fingindo ser fótons e outra em termos de fótons invisíveis. Na ausência de uma explicação independente de uma razão para os anjos fingirem ser fótons, a última explicação é melhor.

Não sentimos a presença das nossas contrapartes em outros universos. Nem a Inquisição sentiu a Terra movendo-se sob seus pés. No entanto, ela se move! Agora, considere o que aconteceria se existíssemos em múltiplas cópias, interagindo somente por meio de efeitos imperceptivelmente fracos de interferência quântica. Isto é o equivalente do que Galileu fez quando analisou o que aconteceria para nós se a Terra estivesse se movendo de

acordo com a teoria heliocêntrica. Ele descobriu que o movimento seria imperceptível. No entanto, talvez “imperceptível” não seja exatamente a palavra certa. Nem o movimento da Terra nem a presença de universos paralelos é diretamente perceptível, mas qualquer outra coisa também não é perceptível diretamente (exceto talvez, se o argumento de Descartes se mantém, sua própria existência sem adorno). Mas ambas as coisas são perceptíveis no sentido de que elas perceptivelmente nos “chutam de volta” se as examinarmos por meio de instrumentos científicos. Podemos ver um pêndulo de Foucault oscilando em um plano que parece girar gradualmente, revelando a rotação da Terra abaixo dele. E podemos detectar fótons que foram defletidos por interferência com suas contrapartes de outro universo. É somente um acidente da evolução, como ocorreu, que os sentidos com os quais nascemos não são adaptados para sentir essas coisas “diretamente”.

Não é a força com que alguma coisa chuta de volta que torna a teoria da sua existência convincente. O que importa é o seu papel nas explicações que essa teoria oferece. Dei exemplos da física onde “chutes” muito leves nos levaram a conclusões importantes sobre a realidade, porque não temos outra explicação. O contrário também acontece: se não há uma clara vencedora entre as explicações competidoras, até mesmo um “chute” poderoso pode não nos convencer de que a suposta fonte tem realidade independente. Por exemplo, você pode um dia ver monstros terríveis atacando-o — e acordar. Se a explicação de que eles se originaram na sua própria mente parecer adequada, seria irracional concluir que realmente existem esses monstros lá fora. Se você sentir uma dor súbita no ombro enquanto anda em uma rua movimentada, olhar em volta e não ver nada que a explique, poderá se perguntar se a dor foi causada por uma parte inconsciente da sua própria mente, ou pelo seu corpo, ou por alguma coisa externa. Pode achar possível que uma pessoa maldosa escondida atirou em você com uma arma de ar comprimido e no entanto não chegar a nenhuma conclusão quanto à realidade dessa pessoa. Mas se então você visse um chumbinho de arma de ar comprimido rolando pelo chão, poderia concluir que nenhuma explicação solucionaria o problema tão bem quanto a da arma, e neste caso a adotaria. Em outras palavras, você inferiria tentativamente a existência de uma pessoa que não viu, e poderia nunca ver, apenas por causa do papel dessa pessoa na melhor explicação disponível. Claramente, a teoria da existência dessa pessoa não é uma consequência lógica da evidência observada (a qual, incidentalmente, consistiria em uma única observação). Nem essa teoria tem

a forma de uma “generalização indutiva”, por exemplo, que você observará a mesma coisa novamente se executar o mesmo experimento. Nem é a teoria experimentalmente testável: o experimento nunca poderia provar a ausência de um atirador oculto. Apesar de tudo isso, o argumento a favor da teoria poderia ser esmagadoramente convincente, se fosse a melhor explicação.

Sempre que usei o critério do Dr. Johnson para argumentar pela realidade de alguma coisa, um atributo em particular sempre foi relevante, isto é, a complexidade. Preferimos explicações mais simples às mais complexas. E preferimos explicações capazes de dar conta de detalhes e complexidades a explicações que podem dar conta somente dos aspectos simples dos fenômenos. O critério do Dr. Johnson diz para considerarmos reais aquelas entidades complexas que, se não fossem consideradas reais, complicariam nossas explicações. Por exemplo, devemos considerar os planetas reais, porque se não o fizéssemos, seríamos forçados a explicações complicadas de um planetário cósmico ou de leis alteradas da física, ou de anjos, ou de qualquer outra coisa que, sob essa suposição, nos daria a ilusão de que existem planetas lá no espaço.

Assim, a complexidade observada na estrutura ou comportamento de uma entidade é parte da evidência de que essa entidade é real. Mas não é evidência suficiente. Por exemplo, não consideramos nossos reflexos em um espelho como pessoas reais. E claro que as próprias ilusões são processos físicos reais, mas as entidades ilusórias que eles mostram não precisam ser consideradas reais, porque derivam sua complexidade de alguma outra coisa. Elas não são autonomamente complexas. Por que aceitarmos a teoria do “espelho” dos reflexos, mas rejeitamos a teoria “planetária” do sistema solar? E porque, dada uma explicação simples da ação dos espelhos, podemos entender que nada do que vemos neles está realmente por trás deles. Nenhuma outra explicação é necessária porque os reflexos, embora complexos, não são autônomos — sua complexidade é meramente emprestada do nosso lado do espelho. Isso não acontece com os planetas. A teoria de que o planetário cósmico é real, e que nada está por trás dele, só piora o problema. Pois se a aceitarmos, em vez de perguntar apenas como o sistema solar funciona, deveríamos primeiro perguntar como funciona o planetário e então como funciona o sistema solar que ele exibe. Não poderíamos evitar a pergunta seguinte e ela é efetivamente uma repetição do que estávamos tentando responder para começar. Agora podemos reformular a frase do Dr. Johnson assim: Se, de acordo com a explicação mais simples,

uma entidade é complexa e autônoma, então essa entidade é real.

A teoria da complexidade computacional é o ramo da ciência da computação preocupado com quais recursos (como tempo, capacidade de memória ou energia) são necessários para executar determinadas classes de cálculo. A complexidade de uma informação é definida em termos dos recursos computacionais (como o tamanho do programa, o número de passos computacionais ou a quantidade de memória) que um computador precisaria se tivesse de reproduzir essa informação. Várias definições diferentes de complexidade estão em uso, cada uma com seu próprio domínio de aplicabilidade. As definições exatas não precisam nos preocupar agora, mas todas são baseadas no conceito de que um processo complexo é aquele que na verdade nos apresenta os resultados de um cálculo grande. O sentido no qual o movimento dos planetas “nos apresenta os resultados de um cálculo grande” é bem ilustrado por um planetário. Considere um planetário controlado por um computador que calcula a imagem exata que os projetores devem exibir para representar o céu noturno. Para fazer isso com autenticidade, o computador precisa usar as fórmulas fornecidas por teorias astronômicas; na verdade, o cálculo é idêntico ao que ele executaria se estivesse calculando previsões de para onde um observatório deveria apontar seus telescópios para ver planetas e estrelas reais. O que queremos dizer afirmando que a aparência do planetário é “tão complexa” quanto a do céu noturno que ele ilustra é que esses dois cálculos — um descrevendo o céu noturno, o outro descrevendo o planetário — são em grande parte idênticos. Portanto, podemos expressar novamente o critério do Dr. Johnson em termos de cálculos hipotéticos: Se uma quantidade substancial de cálculo seria necessária para nos dar a ilusão de que certa entidade é real, então essa entidade é real.

Se a perna do Dr. Johnson invariavelmente ricocheteasse quando ele a esticasse, a fonte das suas ilusões (Deus, uma máquina de realidade virtual ou qualquer outra coisa) precisaria executar somente um cálculo simples para determinar quando lhe dar a sensação de ricochete (alguma coisa como “Se a perna é esticada, então ricocheteie...”). Mas para reproduzir o que o Dr. Johnson sentiu em um experimento realista seria necessário levar em conta onde a pedra está, se o pé do Dr. Johnson irá acertar ou errar a pedra, quão pesada, dura e firmemente alojada ela está, e se alguma outra pessoa acabou de chutá-la para fora do caminho, e assim por diante — um grande cálculo.

Físicos que tentam se apegar a uma visão de mundo de universo único às

vezes tentam explicar os fenômenos de interferência quântica desta forma: “Não existem fótons sombras”, eles dizem, “e o que leva o efeito das fendas distantes para o fóton que vemos é nada. Algum tipo de ação à distância (como na lei da gravidade de Newton) simplesmente faz os fótons mudar de direção quando uma fenda distante é aberta”. Mas não há nada “simples” nessa suposta ação à distância. A lei física apropriada teria de dizer que um fóton é afetado por objetos distantes exatamente como se alguma coisa estivesse passando através das fendas distantes e refletindo nos espelhos distantes de forma a interceptar o fóton no tempo e lugar certos. Calcular como um fóton reage a esses objetos distantes exigiria o mesmo esforço computacional de calcular a história de grandes quantidades de fótons sombras. O cálculo teria de passar pela história do que cada fóton sombra faz: ele se reflete nisto, é detido por aquilo, e assim por diante. Portanto, da mesma forma que com a pedra do Dr. Johnson e com os planetas de Galileu, uma história que é com efeito sobre fótons sombras necessariamente aparece em qualquer explicação dos efeitos observados. A complexidade irredutível dessa história torna filosoficamente insustentável negar que os objetos existem.

O físico David Bohm construiu uma teoria com previsões idênticas às da teoria quântica, na qual uma espécie de onda acompanha cada fóton, atravessa toda a barreira, passa através das fendas e interfere no fóton que vemos. A teoria de Bohm é muitas vezes apresentada como uma variante de universo único da teoria quântica. Mas, de acordo com o critério do Dr. Johnson, isso é um equívoco. Resolver o que fará a onda invisível de Bohm exige os mesmos cálculos que são necessários para calcular o que trilhões de fótons sombras farão. Algumas partes da onda descrevem a nós, observadores, detectando e reagindo aos fótons; outras partes descrevem outras versões de nós, reagindo a fótons em diferentes posições. A modesta nomenclatura de Bohm — referindo-se à maior parte da realidade como uma “onda” — não altera o fato de em sua teoria a realidade consistir em grandes conjuntos de entidades complexas, cada uma das quais pode perceber outras entidades em seu próprio conjunto, mas podendo perceber apenas indiretamente entidades em outros conjuntos. Esses conjuntos de entidades são, em outras palavras, universos paralelos.

Descrevi o novo conceito de Galileu sobre o nosso relacionamento com a realidade externa como uma grande descoberta metodológica. Ele nos deu uma forma nova e confiável de raciocínio envolvendo evidências

observacionais. Esse é na verdade um aspecto de sua descoberta: o raciocínio científico é confiável, não no sentido de que certifica que alguma teoria particular sobreviverá sem alterações, mesmo até amanhã, mas no sentido de que estamos certos ao confiar nele. Pois estamos certos em buscar soluções para problemas em vez de fontes de justificação definitiva. A evidência observacional é realmente evidência, não no sentido de que alguma teoria pode ser deduzida, induzida ou de qualquer outra maneira inferida a partir dela, mas no sentido de que pode constituir uma razão genuína para preferir uma teoria a outra.

Mas há outro lado da descoberta de Galileu que é apreciado com muito menos frequência. A confiabilidade do raciocínio científico não é apenas um atributo de nós, do nosso conhecimento e do nosso relacionamento com a realidade. É também um fato novo sobre a própria realidade física, um fato que Galileu expressou na frase “o Livro da Natureza está escrito com símbolos matemáticos”. Como eu disse, é impossível literalmente “ler” qualquer fragmento de uma teoria na natureza: esse é o equívoco indutivista. Mas o que está genuinamente lá fora é evidência ou, mais precisamente, uma realidade que responde com evidência se interagirmos apropriadamente com ela. Dado um fragmento de uma teoria, ou melhor, fragmentos de várias teorias rivais, a evidência estará disponível lá fora para nos permitir distingui-las. Qualquer um pode procurar por ela, encontrá-la e aperfeiçoá-la, se se der ao trabalho de fazer isso. Não é preciso autorização, ou iniciação, ou textos sagrados. O que é preciso é somente olhar na direção certa — com problemas férteis e teorias promissoras em mente. Essa acessibilidade aberta não somente da evidência, mas do mecanismo completo de aquisição do conhecimento, é um atributo chave da concepção de realidade de Galileu.

Galileu pode ter pensado nisso como autoevidente, mas não é. É uma asserção substantiva sobre como é a realidade física. Logicamente, a realidade não precisa ter tido essa propriedade amigável para com a ciência, mas tem, e em abundância. O universo de Galileu está saturado de evidências. Copérnico havia juntado evidência para sua teoria heliocêntrica na Polônia. Tycho Brahe havia coletado sua evidência na Dinamarca e Kepler na Alemanha. E apontando seu telescópio para os céus da Itália, Galileu ganhou maior acesso à mesma evidência. Qualquer parte da superfície da Terra em qualquer noite clara, durante bilhões de anos, tem sido inundada com evidências sobre os fatos e leis da astronomia. Para muitas outras ciências, as evidências têm sido exibidas de modo semelhante, para serem

vistas mais claramente nos tempos modernos pelos microscópios e outros instrumentos. Onde a evidência já não está fisicamente presente, podemos trazê-la para a existência com dispositivos como laseres e barreiras perfuradas — dispositivos que podem ser construídos por qualquer um, em qualquer lugar e a qualquer tempo. E a evidência será a mesma, não importa quem a revele. Quanto mais fundamental for uma teoria, mais prontamente estará disponível a evidência que a suporta (para aqueles que sabem como procurar), não apenas na Terra, mas em todo o multiverso.

Desta forma, a realidade física é auto semelhante em vários níveis: entre as estupendas complexidades do universo e do multiverso, alguns padrões são apesar disso incessantemente repetidos. A Terra e Júpiter são, de várias maneiras, planetas dramaticamente diferentes, mas ambos se movem em elipses e são feitos do mesmo conjunto de aproximadamente uma centena de elementos químicos (embora em proporções diferentes) e assim também são suas contrapartes em universos paralelos. A evidência que tanto impressionou Galileu e seus contemporâneos também existe em outros planetas e nas galáxias distantes. A evidência que está sendo considerada neste momento por físicos e astrônomos também estava disponível um bilhão de anos atrás e ainda estará um bilhão de anos no futuro. A própria existência das teorias gerais e explicativas implica que objetos e eventos díspares sejam fisicamente semelhantes em algumas maneiras. A luz que chega até nós das galáxias distantes, afinal, é apenas luz, mas a nós parece como galáxias. Assim, a realidade contém não somente evidência, mas também os meios (como nossas mentes e nossos artefatos) de entendê-la. Existem símbolos matemáticos na realidade física. O fato de sermos nós quem os coloca lá não os torna menos físicos. Nesses símbolos — nos nossos planetários, livros, filmes, memórias de computadores e nossos cérebros — há imagens de realidade física à vontade, imagens não apenas da aparência dos objetos, mas da estrutura da realidade. Há leis e explicações, redutivas e emergentes. Há descrições e explicações do Big Bang e de partículas e processos subnucleares; há abstrações matemáticas; ficção; arte; moralidade; fótons sombras; universos paralelos. Até onde esses símbolos, imagens e teorias são verdadeiros — isto é, assemelham-se em aspectos apropriados às coisas concretas ou abstratas a que se referem — sua existência dá realidade a um novo tipo de autosemelhança, aquela que chamamos de conhecimento.

Terminologia Empregada no Capítulo

Teoria heliocêntrica — A teoria de que a Terra se move ao redor do Sol

e gira em seu próprio eixo.

Teoria geocêntrica — A teoria de que a Terra está em repouso e outros corpos astronômicos se movem ao seu redor.

Realismo — A teoria de que um universo físico externo existe objetivamente e nos afeta por meio dos nossos sentidos.

Navalha de Occam (minha formulação) — Não complique as explicações além do necessário, porque se o fizer, as próprias complicações desnecessárias continuarão inexplicadas.

Critério do Dr. Johnson (minha formulação) — Se pode chutar de volta, existe. Uma versão mais elaborada é: Se, de acordo com a explicação mais simples, uma entidade é complexa e autônoma, então essa entidade é real.

Autosemelhança — Algumas partes da realidade física (como símbolos, figuras ou pensamentos humanos) assemelham-se a outras partes. A semelhança pode ser concreta, como quando as imagens de um planetário assemelham-se ao céu noturno; o mais importante é que ela pode ser abstrata, como quando uma afirmação da teoria quântica impressa em um livro explica corretamente um aspecto da estrutura do multiverso. (Alguns leitores podem estar familiarizados com a geometria dos fractais; a noção de autosemelhança definida aqui é muito mais ampla do que a usada naquele campo.)

Teoria da complexidade — O ramo da ciência da computação preocupado com quais recursos (como tempo, capacidade de memória ou energia) são exigidos para executar determinadas classes de cálculos.

Resumo

Embora o solipsismo e doutrinas correlatas sejam logicamente autoconsistentes, elas podem ser compreensivelmente refutadas simplesmente levando-as a sério como explicações. Embora todas elas aleguem ser visões de mundo simplificadas, essa análise mostra que elas são superelaborações indefensáveis do realismo. Entidades reais comportam-se de maneira complexa e autônoma, o que pode ser tomado como critério para a realidade: se alguma coisa “chuta de volta”, ela existe. O raciocínio científico, que usa a observação não como base para extrapolação, mas para distinguir explicações que de outra forma seriam igualmente boas, pode nos dar conhecimento verdadeiro sobre a realidade.

Assim, a ciência e outras formas de conhecimento são possibilitadas por uma propriedade especial de autosemelhança do mundo físico. No entanto, não foram os físicos quem primeiro reconheceram e estudaram essa propriedade: foram os matemáticos e teóricos da computação, e eles a

chamaram de universalidade de cálculo. A teoria da computação é nosso terceiro elemento.

5 Realidade Virtual

Tradicionalmente a teoria da computação tem sido estudada quase inteiramente no abstrato, como um tópico de matemática pura. Isso é falhar na sua compreensão. Computadores são objetos físicos e cálculos são processos físicos. O que os computadores podem ou não podem calcular é determinado somente pelas leis da física e não por matemática pura. Um dos conceitos mais importantes da teoria da computação é a universalidade. Um computador universal normalmente é definido como uma máquina abstrata que pode imitar os cálculos de qualquer outra máquina abstrata de certa classe bem definida. Entretanto, a importância da universalidade está no fato de computadores universais, ou pelo menos boas aproximações deles, poderem realmente ser construídos e usados para calcular não apenas o comportamento uns dos outros, mas o comportamento de entidades físicas e abstratas interessantes. O fato de isso ser possível é parte da autosemelhança da realidade física que mencionei no capítulo anterior.

A mais bem conhecida manifestação de universalidade é uma área da tecnologia que tem sido discutida durante décadas, mas só agora está começando a decolar, isto é, a realidade virtual. O termo refere-se a qualquer situação em que uma pessoa vive artificialmente a experiência de estar em um ambiente específico. Por exemplo, um simulador de voo — uma máquina que dá aos pilotos a experiência de voar em uma aeronave sem ter de deixar o solo — é um tipo de gerador de realidade virtual. Essa máquina (ou mais precisamente, o computador que a controla) pode ser programada com as características de uma aeronave verdadeira ou imaginária. O ambiente da aeronave, como o clima e a disposição dos aeroportos, também pode ser especificado no programa. A medida que o piloto pratica voar de um aeroporto para outro, o simulador faz com que apareçam nas janelas as imagens apropriadas, sejam sentidas as sacudidas e acelerações, sejam mostradas nos instrumentos as leituras correspondentes e assim por diante. Ela pode incorporar os efeitos de, por exemplo, turbulência, falha mecânica e modificações sugeridas na aeronave. Assim, um simulador de voo pode dar ao usuário ampla gama de experiências de pilotagem, incluindo algumas que nenhuma aeronave verdadeira poderia: a aeronave simulada poderia ter características de desempenho que violassem as leis da física, por exemplo, voar através de montanhas, voar mais rápido que a luz ou sem combustível.

Como percebemos o nosso ambiente por meio dos sentidos, qualquer gerador de realidade virtual tem de ser capaz de manipulá-los, sobrepujando seu funcionamento normal de forma que possamos sentir o ambiente especificado em vez do real. Isso pode soar parecido com o Admirável Mundo Novo de Aldous Huxley, mas é claro que as tecnologias para o controle artificial da experiência sensorial humana evoluíram milhares de anos. Todas as técnicas da arte de representar e da comunicação a longa distância podem ser vistas como "dominadoras do funcionamento normal dos sentidos". Até mesmo as pinturas pre-históricas das cavernas davam a quem as contemplava parte da experiência de ver animais que não estavam realmente ali. Hoje podemos fazer isso com muito mais precisão usando cinema e gravações de som, embora não com exatidão suficiente para que o ambiente simulado seja tomado pelo original.

Usarei o termo gerador de imagens para qualquer dispositivo, como um planetário, um sistema de som de alta-fidelidade ou uma prateleira de temperos, que podem gerar estímulos sensoriais especificáveis para o usuário: figuras, sons, odores etc. contam como "imagens". Por exemplo, para gerar a imagem olfativa (isto é, o cheiro) de baunilha, abrimos o frasco de baunilha da prateleira de temperos. Para gerar a imagem auditiva (isto é, o som) do 20º concerto para piano de Mozart, tocamos o CD correspondente no sistema de som. Qualquer gerador de imagem é uma espécie rudimentar de gerador de realidade virtual, mas o termo "realidade virtual" é usualmente reservado para casos em que há tanto uma grande cobertura do espectro sensorial do usuário quanto um elemento substancial de interação ("chutando de volta") entre o usuário e as entidades simuladas.

Os videogames de hoje permitem uma interação entre o jogador e os objetos do jogo, mas normalmente apenas abrangem uma pequena fração da faixa sensorial. O "ambiente" representado consiste em imagens em uma pequena tela e em uma parte dos sons ouvidos pelo usuário. Mas já existem videogames de realidade virtual mais merecedores desse nome. Normalmente o usuário utiliza um capacete com fones de ouvido e duas telas de televisão embutidas, uma para cada olho, e talvez luvas especiais e outras roupas com executores eletricamente controlados (dispositivos geradores de pressão). Existem também sensores que detectam o movimento de partes do corpo do usuário, especialmente da cabeça. As informações sobre o que o usuário está fazendo são passadas para um computador, que calcula o que ele deve estar vendo, ouvindo e sentindo, e responde enviando sinais apropriados para os

geradores de imagens (Figura 5.1). Quando o usuário olha para a esquerda ou para a direita, as figuras nas duas telas de televisão se deslocam, da mesma maneira que faria um campo de visão verdadeiro, para mostrar o que estiver à esquerda ou à direita do usuário no mundo simulado. O usuário pode estender a mão e pegar um objeto simulado e o sente como real porque os executores da luva geram a “realimentação tátil” apropriada' para qualquer posição e orientação em que o objeto é visto.

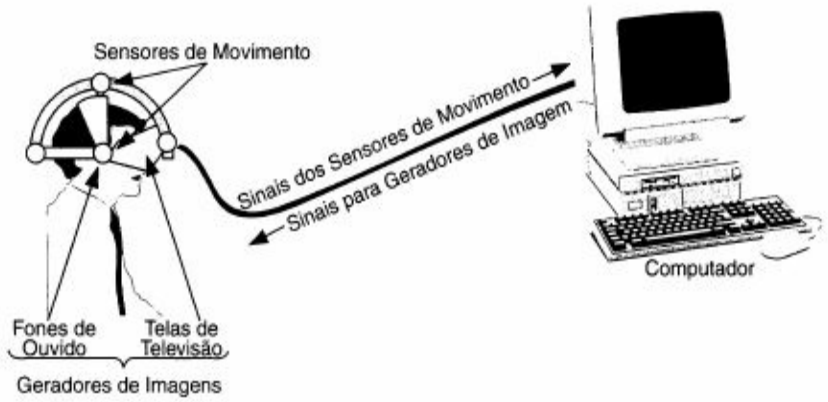


Figura 5.1 *A realidade virtual como implementada hoje.*

O jogo de videogame e a simulação de veículos são as principais utilizações da realidade virtual atualmente, mas imagina-se um grande número de novos usos para o futuro próximo. Em breve será lugar-comum para arquitetos criar protótipos de realidade virtual de edifícios nos quais os clientes podem andar e experimentar modificações em um estágio em que elas podem ser implementadas relativamente sem esforço. Consumidores poderão andar (ou na verdade voar) em supermercados de realidade virtual sem sair de casa e sem encontrar multidões de outros compradores ou ouvir música de que não gostam. Eles nem estarão necessariamente sozinhos no supermercado simulado, pois quaisquer grupos de pessoas podem fazer compras juntas na realidade virtual, cada uma recebendo imagens das outras e também as do supermercado, sem que nenhuma delas tenha de sair de casa. Concertos e conferências serão realizados sem um local para isso; não somente haverá economia de custos de auditório, acomodações e viagens, mas também o benefício de todos os participantes poderem se sentar nos melhores lugares simultaneamente.

Se o bispo Berkeley ou a Inquisição tivessem conhecido a realidade virtual, provavelmente teriam se aproveitado dela como a perfeita ilustração da falsidade dos sentidos, apoiando seus argumentos contra o raciocínio

científico. O que aconteceria se o piloto de um simulador de voo tentasse usar o teste de realidade do Dr. Johnson? Embora a aeronave simulada e suas cercanias não existam realmente, elas “reagem de volta” sobre o piloto da mesma forma que fariam se existissem. O piloto pode aumentar a aceleração e ouvir os motores respondendo, sentir seu impulso no assento e vê-los pela janela, vibrando e expelindo gás quente, embora não exista nenhum motor. O piloto pode experimentar voar através de uma tempestade e ouvir os trovões e ver a chuva batendo no para-brisa, embora nenhuma dessas coisas esteja ali na realidade. O que está fora da cabine na verdade é apenas um computador, alguns macacos hidráulicos, telas de televisão e alto-falantes e uma sala perfeitamente seca e imóvel.

Isso invalida a refutação do solipsismo pelo Dr. Johnson? Não. Sua conversa com Boswell poderia da mesma forma ter acontecido dentro de um simulador de voo. “Eu o refuto assim”, ele poderia ter dito acelerando e sentindo o motor simulado reagir. Não existe motor ali. O que reage é no final das contas um computador, executando um programa que calcula o que um motor faria se fosse “acelerado”. Mas esses cálculos, que são externos à mente do Dr. Johnson, respondem ao controle do acelerador da mesma maneira complexa e autônoma que o motor responderia. Portanto, passam no teste de realidade, e corretamente, pois na verdade são processos físicos dentro do computador, e o computador é um objeto físico comum — não menos que um motor — e perfeitamente real. O fato de ele não ser um motor verdadeiro é irrelevante para o argumento contra o solipsismo. Afinal, nem tudo o que é real tem de ser fácil de identificar. Não teria importado, na demonstração original do Dr. Johnson, se o que parecia ser uma pedra mais tarde acabasse sendo um animal com camuflagem de pedra ou uma projeção holográfica imitando um anão de jardim. Desde que sua resposta fosse complexa e autônoma, o Dr. Johnson estaria certo ao concluir que era causada por alguma coisa real, fora de si mesmo, e, portanto, que a realidade não consistia somente nele mesmo.

Não obstante, a possibilidade da realidade virtual pode parecer um fato desconfortável para aqueles de nós cuja visão de mundo é baseada na ciência. Pense no que é um gerador de realidade virtual, do ponto de vista da física. Obviamente é um objeto físico que obedece às mesmas leis da física às quais todos os outros objetos obedecem. Mas ele pode “fingir” que é de outra maneira. Pode aparentar ser um objeto completamente diferente, que obedece a falsas leis da física. Além do mais, pode fingir de maneira complexa e

autônoma. Quando o usuário o chuta para testar o significado do que ele pretende ser, ele reage de volta como se fosse realmente esse outro objeto sem existência e como se as leis falsas fossem verdadeiras. Se tivéssemos somente esses objetos para aprender a física, aprenderíamos as leis erradas. (Aprenderíamos? Surpreendentemente as coisas não são tão diretas assim. Voltarei a esta questão no capítulo seguinte, mas primeiro devo considerar mais cuidadosamente o fenômeno da realidade virtual.)

Diante disso, pareceria que o bispo Berkeley tinha razão, que a realidade virtual é um testemunho da qualidade rústica das faculdades humanas — que a exequibilidade da realidade virtual deveria nos alertar sobre as limitações inerentes à capacidade de os seres humanos entenderem o mundo físico. A reprodução da realidade virtual pareceria estar na mesma categoria filosófica das ilusões, falsos indícios e coincidências, pois estes também são fenômenos que parecem nos mostrar alguma coisa real, mas na verdade nos iludem. Já vimos que a visão de mundo científica pode acomodar — na verdade espera — a existência de fenômenos altamente enganosos. Ela é par excellence a visão de mundo que pode acomodar tanto a falibilidade humana quanto fontes externas de erro. Não obstante, fenômenos enganosos são basicamente indesejáveis. Exceto por seu valor de curiosidade ou quando aprendemos com eles a razão de estarmos enganados, são coisas que tentamos evitar e sem as quais preferimos continuar. Mas a realidade virtual não está nessa categoria. Veremos que a existência da realidade virtual não indica que a capacidade humana de entender o mundo é inerentemente limitada, mas, ao contrário, que é inerentemente ilimitada. Não é uma anomalia criada pelas propriedades acidentais dos órgãos sensoriais humanos, mas é uma propriedade fundamental do multiverso em geral. E o fato de o multiverso ter essa propriedade, longe de ser um pequeno embaraço para o realismo e a ciência, é essencial para ambos — é a verdadeira propriedade que torna a ciência possível. Não é alguma coisa "sem a qual preferiríamos ficar"; é uma coisa sem a qual literalmente não poderíamos ficar.

Podem parecer afirmações muito grandiosas em favor dos simuladores de voo e videogames, mas é o fenômeno da realidade virtual em geral que ocupa um lugar central no esquema das coisas, não um gerador de realidade virtual em particular. Portanto, quero considerar a realidade virtual da maneira mais geral possível. Quais são seus limites últimos, se é que existe algum? Que tipos de ambientes podem, em princípio, ser artificialmente reproduzidos e com que exatidão? Com "em princípio" quero dizer ignorando

limitações transitórias de tecnologia, mas levando em conta todas as limitações que podem ser impostas pelos princípios da lógica e da física.

Da maneira como o defini, um gerador de realidade virtual é uma máquina que dá ao usuário experiências de alguns ambientes reais ou imaginários (como uma aeronave) que estão, ou parecem estar, fora da sua mente. Vou chamá-las de experiências externas. As experiências externas devem ser contrastadas com experiências internas, como o nervosismo de alguém que faz sua primeira aterrissagem sozinho ou a surpresa diante do súbito aparecimento de uma tempestade quando o céu está claro e azul. Um gerador de realidade virtual indiretamente faz com que o usuário tenha experiências internas como também externas, mas não pode ser programado para reproduzir uma experiência interna específica. Por exemplo, um piloto que faz aproximadamente o mesmo voo duas vezes no simulador terá aproximadamente as mesmas experiências externas em ambas as ocasiões, mas na segunda provavelmente ficará menos surpreso quando aparecer a tempestade. É claro que na segunda vez ele provavelmente reagiria de maneira diferente ao aparecimento da tempestade e isso também tornaria diferentes as experiências externas subsequentes. Mas a questão é que, embora se possa programar a máquina para fazer com que apareça uma tempestade no campo de visão do piloto sempre que se quiser, não se pode programá-la para fazer o piloto pensar qualquer coisa que se queira.

Pode-se conceber uma tecnologia além da realidade virtual, que pudesse também induzir experiências internas específicas. Algumas experiências internas, como estados de ânimo induzidos por certas drogas, já podem ser artificialmente reproduzidas, e não há dúvida de que no futuro será possível estender esse repertório. Mas um gerador de experiências internas especificáveis teria em geral de ser capaz de sobrepujar o funcionamento normal da mente do usuário e também os seus sentidos. Em outras palavras, substituiria o usuário por outra pessoa. Isso coloca esse tipo de máquinas em uma categoria diferente dos geradores de realidade virtual. Elas exigirão uma tecnologia muito diferente e levantarão questões filosóficas bem diversas, e é por isso que as excluí da minha definição de realidade virtual.

Outro tipo de experiência que certamente não pode ser produzida artificialmente é uma experiência logicamente impossível. Eu disse que um simulador de voo pode criar a experiência de um voo fisicamente impossível através de uma montanha, mas nada pode criar a experiência de fatorar o número 181, porque isso é logicamente impossível: 181 é um número primo.

(Acreditar que se tenha fatorado é uma experiência logicamente possível, mas é uma experiência interna, e portanto também fora do alcance da realidade virtual.) Outra experiência logicamente impossível é a inconsciência, pois quando alguém está inconsciente, por definição não está experimentando nada. Não experimentar nada é muito diferente de experimentar completa falta de sensações — isolamento sensorial — que naturalmente é um ambiente fisicamente possível.

Tendo excluído as experiências logicamente impossíveis e as internas, ficamos com a imensa classe de experiências externas logicamente possíveis — experiências de ambientes que são logicamente possíveis, mas que podem ou não ser fisicamente possíveis (Tabela 5.1). Alguma coisa é fisicamente possível se não for proibida pelas leis da física. Neste livro vou assumir que as "leis da física" incluem uma regra ainda desconhecida que determina o estado inicial ou outros dados suplementares necessários para dar, em princípio, uma descrição completa do multiverso (de outra forma, esses dados seriam um conjunto de fatos intrinsecamente inexplicáveis). Nesse caso, um ambiente é fisicamente possível se, e somente se, realmente existir em algum lugar do multiverso (isto é, em algum universo ou universos). Alguma coisa é fisicamente impossível se não ocorre em nenhum lugar do multiverso.

Defino o repertório de um gerador de realidade virtual como o conjunto de ambientes reais ou imaginários que pode ser programado nesse gerador para proporcionar ao usuário a experiência correspondente. Minha pergunta sobre os limites finais da realidade virtual pode ser feita assim: Quais restrições, se houver, as leis da física impõem aos repertórios dos geradores de realidade virtual?

A realidade virtual sempre envolve a criação de impressões sensoriais artificiais — geração de imagens — portanto, vamos começar por aí. Quais restrições as leis da física impõem sobre a capacidade dos geradores de imagens para criar imagens artificiais, para reproduzir detalhes e para cobrir suas respectivas faixas sensoriais? Existem maneiras óbvias de melhorar os detalhes reproduzidos por um simulador de voo atual, por exemplo, usando televisores com definição mais alta. Mas podem uma aeronave e suas cercanias realistas ser reproduzidas, mesmo em princípio, com o máximo de Uma classificação de experiências com exemplos da cada uma. A realidade virtual preocupa-se com a geração de experiências externas e logicamente possíveis (região superior esquerda da tabela). detalhes, isto é, com o maior nível de detalhes que os sentidos do piloto podem distinguir? Para o sentido

da audição, esse nível máximo já foi quase atingido pelos sistemas de alta-fidelidade, e para a visão está quase sendo atingido. Mas o que dizer dos outros sentidos?

	Experiências Logicamente Possíveis		
	Ambiente Fisicamente Possível	Ambiente Fisicamente Impossível	Experiências Logicamente Impossíveis
Experiências Externas	Pilotar uma aeronave	Voar com velocidade maior que a luz	Fatorar um número primo
Experiências Internas	Orgulhar-se das habilidades de pilotagem	Experimentar cores fora da faixa visível	Inconsciência

Tabela 5.1 *Uma classificação de experiências com exemplos da cada uma. A realidade virtual preocupa-se com a geração de experiências externas e logicamente possíveis (região superior esquerda da tabela).*

É óbvio que é fisicamente possível construir uma fábrica química de uso geral que possa produzir qualquer combinação especificada de milhões de produtos químicos odoríferos rapidamente? Ou uma máquina que, quando inserida na boca de um gourmet, possa simular o gosto e a textura de qualquer prato possível — para não falar da criação da fome e sede que precedem a refeição e a satisfação física que a sucede? (Fome, sede e outras sensações, como equilíbrio e tensão muscular, são percebidas como internas do corpo, mas são externas em relação à mente e, portanto, potencialmente dentro do alcance da realidade virtual.)

A dificuldade de fazer tais máquinas pode ser meramente tecnológica, mas que tal isto: suponha que o piloto de um simulador de voo aponte a aeronave simulada verticalmente para cima em alta velocidade e então desligue os motores. A aeronave deveria continuar subindo até que seu momentum para cima fosse exaurido, então começaria a cair de volta com velocidade crescente. O movimento total é chamado de queda livre, embora a aeronave esteja viajando para cima no começo, porque está se movendo somente sob a influência da gravidade. Quando uma aeronave está em queda livre, seus ocupantes não têm peso e podem flutuar na cabine como astronautas em órbita. O peso é restaurado somente quando uma força para cima é novamente exercida sobre a aeronave, como deverá acontecer em breve, ou pela aerodinâmica ou pelo chão impiedoso. (Na prática, a queda livre normalmente é conseguida fazendo-se a aeronave voar com potência

pela mesma trajetória parabólica que seguiria na ausência da força do motor e da resistência do ar.) Aeronaves em queda livre são usadas para treinar astronautas com ausência de peso antes de irem para o espaço. Uma aeronave real pode ficar em queda livre durante alguns minutos ou mais, porque tem vários quilômetros para subir e descer, mas um simulador de voo em terra só pode ficar em queda livre por alguns instantes, enquanto seus suportes o deixam subir até a extensão máxima e então caem de volta. Os simuladores de voo (pelo menos os atuais) não podem ser usados para treinamento de falta de peso; para isso é preciso uma aeronave verdadeira.

Poder-se-ia remediar essa deficiência dos simuladores de voo dando-lhes a capacidade de simular queda livre no chão (e neste caso eles poderiam também ser usados como simuladores de voo espacial)? Não facilmente, pois as leis da física impedem. A física conhecida não oferece nenhum outro meio além da queda livre, mesmo em princípio, para remover o peso de um objeto. A única maneira de colocar um simulador de voo em queda livre enquanto ele permanece parado na superfície da Terra seria de alguma maneira suspender um corpo maciço, como outro planeta de massa semelhante ou um buraco negro, acima dele. Mesmo se isso fosse possível (lembre-se, estamos preocupados não com a praticabilidade imediata, mas com o que as leis da física permitem ou não), uma aeronave verdadeira também poderia produzir mudanças frequentes e complexas na grandeza e direção do peso dos ocupantes por meio de manobras ou ligando e desligando os motores. Para simular essas mudanças, o corpo maciço teria de ser movido com a mesma frequência, e parece provável que a velocidade da luz (se nada mais) imporia um limite absoluto na rapidez com que isso poderia ser feito.

Entretanto, para simular a queda livre um simulador de voo não precisaria proporcionar ausência de peso verdadeira, apenas a experiência da ausência de peso, e várias técnicas que não envolvem queda livre foram usadas para uma aproximação disso. Por exemplo, os astronautas treinam dentro da água em trajes espaciais cujo peso é dimensionado para ter flutuabilidade nula. Outra técnica é usar um arreio que leva o astronauta pelo ar sob controle computadorizado para imitar a ausência de peso. Mas esses métodos são rústicos e a sensação que produzem dificilmente poderia ser tomada como a coisa verdadeira, ainda mais ser indistinguível da realidade. Uma pessoa é inevitavelmente suportada por forças sobre a sua pele, as quais não pode evitar de sentir. Além disso, a sensação característica de queda, sentida pelos órgãos sensores do ouvido interno, não pode ser reproduzida de

forma alguma. Podem-se imaginar outras melhorias: o emprego de fluidos de suporte com viscosidade muito baixa; drogas que criam a sensação de queda. Mas poder-se-ia reproduzir a experiência perfeitamente em um simulador de voo que permanecesse firmemente no solo? Caso não, haveria um limite absoluto para a fidelidade com que as experiências de voar poderiam ser reproduzidas artificialmente. Para fazer distinção entre uma aeronave verdadeira e uma simulação, um piloto teria apenas de voar nela em uma trajetória de queda livre e ver se aconteceria ou não a ausência de peso.

Expresso de maneira geral, o problema é este. Para sobrepujar o funcionamento normal dos órgãos dos sentidos, devemos enviar-lhes imagens que se assemelham às que seriam produzidas pelo ambiente que está sendo simulado. Devemos também interceptar e suprimir as imagens produzidas pelo ambiente real do usuário. Mas essas manipulações de imagens são operações físicas e podem ser executadas somente por processos disponíveis no mundo físico real. Luz e som podem ser fisicamente absorvidos e substituídos com razoável facilidade. Mas, como eu disse, isso não é verdadeiro para a gravidade: as leis da física não o permitem. O exemplo da ausência de peso parece sugerir que a simulação exata de um ambiente de ausência de peso por uma máquina que não estava realmente em voo poderia violar as leis da física.

Mas não é assim. A ausência de peso e todas as outras sensações podem, em princípio, ser reproduzidas artificialmente. Eventualmente será possível contornar todos os órgãos sensoriais e estimular diretamente os nervos que os levam ao cérebro.

Portanto, não precisamos de fábricas de produtos químicos ou máquinas impossíveis de gravidade artificial. Quando tivermos entendido os órgãos olfativos o suficiente para decifrar o código com que eles enviam sinais ao cérebro ao detectar cheiros, um computador com conexões adequadas para os nervos relevantes poderia enviar ao cérebro os mesmos sinais. Então o cérebro poderia experimentar os cheiros sem que os mesmos produtos químicos correspondentes sequer existissem. De modo semelhante, o cérebro poderia experimentar a autêntica sensação de ausência de peso, mesmo sob gravidade normal. E, é claro, também não seriam necessários televisores nem fones de ouvido.

Assim, as leis da física não impõem limites para o alcance e a exatidão dos geradores de imagens. Não existe sensação, ou sequência de sensações, que os seres humanos são capazes de sentir e que não possa, em princípio, ser

reproduzida artificialmente. Um dia, como generalização do cinema, haverá o que Aldous Huxley, no seu Admirável Mundo Novo, chamou de “feelies” ou “cinemas sensoriais”, isto é, cinemas para todos os sentidos. Uma pessoa poderá sentir o balanço de um barco sob seus pés, ouvir as ondas e cheirar o mar, ver as cores cambiantes do pôr do sol no horizonte e sentir o vento nos cabelos (se tiver ou não cabelos) — tudo sem deixar a terra seca ou se aventurar. Não somente isso, os cinemas sensoriais poderiam tão facilmente representar cenas que nunca existiram, e nunca poderiam existir. Ou poderiam tocar o equivalente da música: lindas combinações abstratas de sensações, compostas para deliciar os sentidos.

Poder reproduzir artificialmente todas as sensações possíveis é uma coisa. Ser possível um dia, de uma vez por todas, construir uma única máquina que reproduza qualquer sensação possível exige alguma coisa extra: universalidade. Uma máquina de cinema sensorial com essa capacidade seria um gerador universal de imagens.

A possibilidade de um gerador de imagens universal nos obriga a mudar nossa perspectiva sobre a questão dos últimos limites de uma tecnologia de cinema sensorial. No presente, o progresso dessa tecnologia diz respeito a inventar meios mais diversos e mais exatos de estimular os órgãos sensoriais. Mas essa classe de problemas desaparecerá, uma vez que tenhamos decifrado os códigos usados pelos órgãos dos sentidos e desenvolvido uma técnica suficientemente delicada para estimular os nervos.

Quando pudermos gerar artificialmente sinais nervosos com exatidão suficiente para que o cérebro não perceba a diferença entre esses sinais e os que nossos órgãos enviariam, aumentar a exatidão dessa técnica não terá mais importância. A essa altura, a tecnologia terá atingido a maturidade, e o desafio para mais melhorias não será como reproduzir sensações dadas, mas quais sensações reproduzir. Em um domínio limitado, isso está acontecendo hoje, pois o problema de como obter a mais alta-fidelidade possível na reprodução do som está perto de ser resolvido com o disco compacto (CD) e a geração atual de equipamentos de reprodução de som. Em breve não existirão mais entusiastas da alta-fidelidade. Os entusiastas da reprodução do som não estarão mais preocupados com a exatidão da reprodução — ela será rotineiramente exata até o limite da discriminação humana — mas apenas com que sons devem ser gravados em primeiro lugar.

Se um gerador de imagens estiver reproduzindo uma gravação tirada da vida, sua exatidão poderá ser definida como a fidelidade das imagens

reproduzidas em relação às que uma pessoa na situação original teria percebido. De maneira mais geral, se o gerador estiver reproduzindo imagens criadas artificialmente, como um desenho animado ou música tocada a partir de uma composição escrita, a exatidão será a proximidade das imagens reproduzidas com as pretendidas. Com “proximidade” queremos dizer a fidelidade com que é percebida pelo usuário. Se a reprodução estiver tão próxima que o usuário não possa distingui-la do que é pretendido, poderemos chamá-la de perfeitamente exata. (Portanto, uma reprodução perfeitamente exata para um usuário pode conter inexatidões perceptíveis para outro com sentidos mais agudos ou com sentidos adicionais.)

Um gerador de imagens universal naturalmente não contém registros de todas as imagens possíveis. O que o torna universal é que, dada uma gravação de qualquer imagem possível, ele pode evocar a sensação correspondente no usuário. Com um gerador universal de sensações auditivas — o sistema de alta-fidelidade definitivo — a gravação poderia ser fornecida na forma de um CD. Para acomodar as sensações auditivas que duram mais tempo do que a capacidade do disco permite, devemos incorporar um mecanismo para alimentar a máquina com qualquer número de discos consecutivamente. A mesma condição se mantém para todos os outros geradores universais de imagens, pois, falando de maneira estrita, um gerador de imagens não é universal a não ser que contenha um mecanismo para reproduzir gravações de duração ilimitada. Além disso, a máquina que tiver reproduzido por longo tempo exigirá manutenção, caso contrário as imagens geradas ficarão degradadas ou poderão até cessar. Estas e outras considerações semelhantes estão ligadas ao fato de que considerar um único objeto físico isolado do resto do universo é sempre uma aproximação. Um gerador universal de imagens só é universal em certo contexto externo, no qual se supõe que ele seja provido de coisas como fornecimento de energia, um mecanismo de refrigeração e manutenção periódica. O fato de uma máquina ter necessidades externas não a desqualifica de ser considerada uma “máquina universal única”, desde que as leis da física não proíbam que essas necessidades sejam satisfeitas e que a satisfação dessas necessidades não exija alterações no projeto da máquina.

Como eu disse, a geração de imagens é apenas um componente da realidade virtual: há também o elemento interativo da mais alta importância. Um gerador de realidade virtual pode ser encarado como um gerador de imagens cujas imagens não são totalmente especificadas antecipadamente,

mas dependem parcialmente do que o usuário escolhe fazer. Ele não reproduz para o usuário uma sequência predeterminada de imagens, como faria um filme de cinema ou um cinema sensorial. Ele compõe as imagens enquanto prossegue, levando em conta um fluxo contínuo de informações sobre o que o usuário está fazendo. Os geradores de realidade virtual atuais, por exemplo, acompanham a posição da cabeça do usuário usando sensores de movimento, como é mostrado na Figura 5.1. No final eles terão de acompanhar tudo o que o usuário faz que poderia afetar a aparência subjetiva do ambiente simulado. O ambiente pode incluir o próprio corpo do usuário: como o corpo é externo à mente, a especificação de um ambiente de realidade virtual pode legitimamente incluir o requisito de o corpo do usuário parecer ter sido substituído por outro com propriedades especificadas.

A mente humana afeta o corpo e o mundo exterior emitindo impulsos nervosos. Portanto, um gerador de realidade virtual pode, em princípio, obter todas as informações de que precisa sobre o que o usuário está fazendo interceptando os sinais nervosos que vêm do seu cérebro. Esses sinais, que iriam para o corpo do usuário, podem em vez disso ser transmitidos para um computador e decodificados para que seja determinado exatamente como o corpo do usuário teria se movido. Os sinais enviados de volta para o cérebro pelo computador podem ser os mesmos que seriam enviados pelo corpo se este estivesse no ambiente especificado. Se a especificação o exigisse, o corpo simulado poderia também reagir de modo diferente do real, por exemplo, para capacitá-lo a sobreviver em simulações de ambientes que matariam um corpo humano verdadeiro ou para simular mau funcionamento do corpo.

Devo admitir que provavelmente é uma idealização grande demais dizer que a mente humana interage com o mundo exterior somente emitindo e recebendo impulsos nervosos. Existem também mensagens químicas passando em ambas as direções. Estou assumindo que, em princípio, essas mensagens poderiam também ser interceptadas e substituídas em algum ponto entre o cérebro e o restante do corpo. Assim, o usuário ficaria imóvel, conectado ao computador, mas vivendo a experiência de interagir completamente com um mundo simulado — na verdade, vivendo nele. A Figura 5.2 ilustra o que estou imaginando. Incidentalmente, embora essa tecnologia esteja bem no futuro, a ideia da sua existência é muito mais antiga do que a própria teoria da computação. No começo do século XVII, Descartes já considerava as implicações filosóficas de um “demônio”

manipulador dos sentidos que era essencialmente um gerador de realidade virtual do tipo mostrado na Figura 5-2, com uma mente sobrenatural substituindo o computador. Da discussão anterior, parece que qualquer gerador de realidade virtual deve ter pelo menos três componentes principais: um conjunto de sensores (que podem ser detectores de impulsos nervosos) para detectar o que o usuário está fazendo, um conjunto de geradores de imagens (que podem ser dispositivos estimuladores de nervos) e um computador no controle.

Figura 5.2 *A realidade virtual como poderia ser implementada no futuro.*

Minha exposição até agora concentrou-se nos dois primeiros, os sensores e os geradores de imagens. Isso porque, no atual estado primitivo da tecnologia, a pesquisa da realidade virtual ainda está preocupada com a geração de imagens. Mas quando olhamos para além das limitações tecnológicas transitórias, vemos que os geradores de imagens meramente fornecem a interface — o "cabo de conexão" — entre o usuário e o verdadeiro gerador de realidade virtual, que é o computador. Porque é inteiramente dentro do computador que o ambiente especificado é simulado. É o computador que fornece a "reação" complexa e autônoma que justifica a palavra "realidade" em "realidade virtual". O cabo de conexão em nada contribui para o ambiente percebido pelo usuário e é "transparente" do ponto de vista do usuário, da mesma maneira que naturalmente não percebemos nossos próprios nervos como parte do nosso ambiente. Assim, os geradores de realidade virtual do futuro seriam mais bem descritos como tendo somente um componente principal, um computador, junto com alguns dispositivos periféricos triviais.

Não quero subestimar os problemas práticos envolvidos na interceptação de todos os sinais nervosos que entram e saem do cérebro humano e na

decodificação dos vários códigos. Mas este é um conjunto finito de problemas que teremos de resolver somente uma vez. Depois disso, o foco da tecnologia da realidade virtual mudará de uma vez por todas para o computador, para o problema de programá-lo para reproduzir vários ambientes. Quais ambientes seremos capazes de reproduzir não mais dependerá de quais sensores e geradores de imagens poderemos construir, mas de quais ambientes poderemos especificar. “Especificar” um ambiente significará fornecer ao computador um programa que será o coração do gerador de realidade virtual.

Em razão da natureza interativa da realidade virtual, o conceito de uma reprodução exata não é tão direto para a realidade virtual quanto é para a geração de imagens. Como eu disse, a exatidão de um gerador de imagens é uma medida da fidelidade das imagens em relação às pretendidas. Mas na realidade virtual normalmente não existem imagens específicas pretendidas: o que é pretendido é um certo ambiente para o usuário experimentar. Especificar um ambiente de realidade virtual não significa especificar o que o usuário experimentará, mas como o ambiente responderia a cada uma das possíveis ações do usuário. Por exemplo, em um jogo de tênis simulado, pode-se especificar antecipadamente a aparência da quadra, o clima, a conduta da plateia e como o oponente deve jogar. Mas não se especifica como será o jogo: isso depende do fluxo de decisões que o usuário toma durante o jogo. Cada conjunto de decisões resulta em respostas diferentes do ambiente simulado e, portanto, em um jogo de tênis diferente.

O número de jogos de tênis possíveis de ser jogados em um ambiente único, isto é, reproduzidos por um único programa, é muito grande. Pense na reprodução da Quadra Central em Wimbledon do ponto de vista de um jogador. Suponha, muito conservadoramente, que em cada segundo do jogo o jogador pode se mover em uma de duas formas perceptivelmente diferentes (isto é, perceptivelmente para o jogador). Então, depois de dois segundos haverá quatro jogos possíveis, depois de três segundos, oito jogos possíveis, e assim por diante. Após cerca de quatro minutos, o número de jogos possíveis perceptivelmente diferentes entre si excederia o número de átomos do universo e continuaria crescendo exponencialmente. Para que um programa reproduza esse ambiente com exatidão, deve ser capaz de responder em qualquer uma dessas inumeráveis maneiras perceptivelmente diferentes, dependendo de como o jogador prefere se comportar. Se dois programas respondem da mesma maneira a todas as ações possíveis executadas pelo

usuário, eles reproduzem então o mesmo ambiente; se respondem perceptivelmente de modo diferente a até mesmo uma ação possível, eles reproduzem ambientes diferentes.

Isso continuará assim mesmo se o usuário nunca executar a ação que evidencia a diferença. O ambiente que um programa reproduz (para um dado tipo de usuário, com um dado cabo de conexão) é uma propriedade lógica do programa, independentemente de o programa ser alguma vez executado. Um ambiente reproduzido é exato até o ponto em que responderia da maneira pretendida a todas as possíveis ações do usuário. Assim, sua exatidão depende não somente das experiências que seus usuários realmente têm, mas também das experiências que não têm, mas teriam tido se tivessem escolhido se comportar de maneira diferente durante a reprodução. Isso pode parecer paradoxal, mas como eu disse, é uma consequência direta do fato de a realidade virtual ser interativa, como é a própria realidade. Isso dá origem a uma importante diferença entre geração de imagens e geração de realidade virtual. A exatidão da reprodução de um gerador de imagens pode, em princípio, ser experimentada, medida e certificada pelo usuário, mas a exatidão de uma reprodução de realidade virtual nunca pode. Por exemplo, se você fosse um amante da música e conhecesse bem determinada peça, poderia ouvir sua execução e confirmar que é uma reprodução perfeitamente exata, em princípio, até a última nota, frase, dinâmica e tudo mais. Mas se você fosse um fã do tênis que conhecesse perfeitamente a Quadra Central de Wimbledon, nunca poderia confirmar se uma pretendida reprodução dela é exata. Mesmo se você fosse livre para explorar a Quadra Central reproduzida pelo tempo que quisesse, para interagir com ela da maneira que quisesse, e mesmo se tivesse acesso à Quadra Central real para fazer uma comparação, nunca poderia afirmar com certeza que o programa realmente reproduz o local verdadeiro. Pois você nunca poderia saber o que teria acontecido se apenas tivesse explorado um pouco mais ou olhado por cima do ombro no momento certo. Talvez, se você tivesse se sentado na cadeira do árbitro e gritado “falta!”, um submarino nuclear emergiria da grama e torpedearia o placar.

Por outro lado, se você encontrasse até mesmo uma só diferença entre a reprodução e o ambiente pretendido, poderia certificar imediatamente que a reprodução era inexata. A não ser que o ambiente reproduzido tivesse algumas características intencionalmente imprevisíveis. Por exemplo, uma roleta é projetada para ser imprevisível. Se fizermos um filme de um jogo de

roleta em um cassino, poderemos dizer que o filme é exato se os números mostrados nele forem os mesmos que realmente foram sorteados quando o filme foi feito. O filme mostrará os mesmos números toda vez que for exibido: é totalmente previsível. Mas o que significa uma reprodução da realidade virtual de uma roleta ser exata? Como antes, significa que um usuário não deveria achar a reprodução perceptivelmente diferente do original. Mas isso implica que ela não deve se comportar de modo idêntico ao original: se o fizer, ou a reprodução ou o original poderiam ser usados para prever o comportamento do outro e, neste caso, nenhum dos dois seria imprevisível. Nem ela deve se comportar da mesma forma todas as vezes em que for jogada. Uma roleta perfeitamente reproduzida deve ser tão utilizável para o jogo quanto uma verdadeira. Portanto, deve ser da mesma forma imprevisível. Além disso, deve ser também imparcial, isto é, todos os números devem resultar de modo puramente aleatório, com probabilidades iguais.

Como reconhecemos ambientes imprevisíveis e como confirmamos que números pretensamente aleatórios são distribuídos de modo imparcial? Verificamos se uma reprodução de roleta satisfaz as especificações da mesma forma que verificamos se a roleta verdadeira satisfaz: chutando (girando) a roleta e vendo se ela responde da maneira que foi anunciada. Fazemos um grande número de observações semelhantes e efetuamos testes estatísticos com os resultados. Mais uma vez, qualquer que seja o número de testes que executemos, não podemos ter certeza de que a reprodução é exata, ou mesmo de que é provavelmente exata. Pois por mais aleatórios que pareçam os números sorteados, eles podem, não obstante, seguir um padrão secreto que permitiria a um usuário bem informado prevê-los. Ou talvez, se perguntássemos em voz alta a data da batalha de Waterloo, os próximos dois números sorteados invariavelmente mostrariam essa data: 18, 15. Por outro lado, se a sequência que sair parecer injusta, não poderemos saber com certeza que ela é, mas poderíamos dizer que a reprodução provavelmente é inexata. Por exemplo, se der zero na nossa roleta reproduzida em dez rodadas consecutivas, deveremos concluir que provavelmente não temos a reprodução exata de uma roleta imparcial.

Ao discutir os geradores de imagens, eu disse que a exatidão de uma imagem reproduzida depende da agudeza e outros atributos dos sentidos do usuário. Com a realidade virtual, esse é o menor dos nossos problemas. Certamente, um gerador de realidade virtual que reproduz um ambiente com

perfeição para humanos não o fará para golfinhos ou extraterrestres. Para reproduzir dado ambiente para um usuário com certo tipo de órgãos sensoriais, um gerador de realidade virtual deve ser fisicamente adaptado a esses órgãos, e seu computador deve ser programado com suas características. Entretanto, as modificações que devem ser feitas para acomodar dada espécie de usuário são finitas e precisam ser feitas uma única vez. Elas se resumem no que chamei de construir um novo “cabo de conexão”. À medida que consideramos ambientes de complexidade cada vez maior a tarefa de reproduzir ambientes para dado tipo de usuário resume-se a escrever programas para calcular o que esses ambientes farão; a parte específica de espécie, tendo complexidade fixa, se torna insignificante por comparação. Esta discussão é sobre os limites últimos da realidade virtual, portanto estamos considerando reproduções arbitrariamente exatas, longas e complexas. Por isso faz sentido falar em “reproduzir dado ambiente" sem especificar para quem ele está sendo reproduzido.

Vimos que há uma noção bem definida de exatidão da reprodução da realidade virtual: exatidão é a fidelidade, até onde seja perceptível, do ambiente reproduzido em relação ao pretendido. Mas deve ser fiel para todas as formas possíveis de comportamento do usuário e por isso, não importa o quanto alguém seja observador ao experimentar um ambiente reproduzido, não poderá certificar que ele é exato (ou provavelmente exato). Mas a experiência pode às vezes mostrar que uma reprodução é inexata (ou provavelmente inexata).

Esta discussão sobre exatidão na realidade virtual reflete o relacionamento entre a teoria e o experimento em ciência. Ali também é possível confirmar experimentalmente que uma teoria geral é falsa, mas nunca que é verdadeira. E ali também, uma visão distorcida da ciência é que ela só se preocupa com a previsão das nossas impressões sensoriais. A visão correta é que, embora as impressões sensoriais sempre tenham um papel, a ciência trata é de entender o todo da realidade, da qual somente uma parte infinitesimal é experimentada.

O programa de um gerador de realidade virtual incorpora uma teoria geral de previsão do comportamento de um ambiente reproduzido. Os outros componentes lidam com o acompanhamento do que o usuário está fazendo e com a codificação e decodificação dos dados sensoriais; estas, como eu já disse, são funções relativamente corriqueiras. Assim, se o ambiente for fisicamente possível, sua reprodução será essencialmente equivalente a

encontrar regras para prever o resultado de cada experimento que poderia ser efetuado nesse ambiente. Por causa da maneira como o conhecimento científico é criado, regras de previsão cada vez mais exatas só podem ser descobertas por meio de teorias explicativas cada vez melhores. Portanto, reproduzir com exatidão um ambiente fisicamente possível depende do entendimento da sua física.

O inverso também é verdadeiro: descobrir a física de um ambiente depende de criar a sua reprodução em realidade virtual. Normalmente se diria que as teorias científicas apenas descrevem e explicam objetos e processos físicos, mas não os reproduzem. Por exemplo, uma explicação dos eclipses do Sol pode ser impressa em um livro. Um computador pode ser programado com dados astronômicos e leis físicas para prever um eclipse e imprimir sua descrição. Mas a reprodução do eclipse em realidade virtual exigiria mais programação e mais hardware. Entretanto, essas coisas já estão presentes no nosso cérebro! As palavras e os números impressos pelo computador equivalem a "descrições" de um eclipse apenas porque alguém conhece o significado desses símbolos. Isto é, os símbolos evocam na mente do leitor algum tipo de semelhança com algum efeito previsto do eclipse, contra o qual a aparência real do efeito será testada. Além disso, a "semelhança" evocada é interativa. Pode-se observar um eclipse de várias maneiras: a olho nu, por fotografia ou empregando vários instrumentos científicos; em algumas posições na Terra pode-se ver um eclipse total do Sol, em outras um eclipse parcial, e em algum outro lugar nenhum eclipse. Em cada caso o observador experimenta imagens diferentes, qualquer uma das quais pode ser prevista pela teoria. O que a descrição do computador evoca na mente do leitor não é apenas uma única imagem ou sequência de imagens, mas um método geral de criar muitas imagens diferentes, correspondendo às muitas maneiras que o leitor pode imaginar para fazer observações. Em outras palavras, é uma reprodução de realidade virtual. Assim, em um sentido mais amplo, levando em conta os processos que devem ocorrer na mente do cientista, ciência e reprodução em realidade virtual dos ambientes fisicamente possíveis são dois termos que denotam a mesma atividade.

Agora, o que dizer da reprodução de ambientes que não são fisicamente possíveis? Diante disso, há dois tipos distintos de reprodução de realidade virtual: uma minoria que retrata ambientes fisicamente possíveis e uma maioria que retrata ambientes fisicamente impossíveis. Mas essa distinção pode sobreviver a um exame mais cuidadoso? Pense em um gerador de

realidade virtual no ato de reproduzir um ambiente fisicamente impossível. Pode ser um simulador de voo executando um programa que calcula a vista da cabine de uma aeronave capaz de voar mais rápido que a luz. O simulador de voo está reproduzindo esse ambiente, mas, além disso, o próprio simulador é o ambiente que o usuário está experimentando, no sentido de que é um objeto físico envolvendo o usuário. Vamos examinar esse ambiente. Claramente, é um ambiente fisicamente possível. É um ambiente reproduzível? É claro. Na verdade, é excepcionalmente fácil de reproduzir: usa-se simplesmente um segundo simulador do mesmo tipo, executando um programa idêntico. Sob essas circunstâncias, o segundo simulador pode ser considerado como estando reproduzindo ou a aeronave fisicamente impossível ou um ambiente fisicamente possível, isto é, o segundo simulador de voo. Se assumirmos que qualquer gerador de realidade virtual que possa, em princípio, ser construído pode, em princípio, ser construído novamente, segue-se que todo gerador de realidade virtual executando qualquer programa do seu repertório está reproduzindo algum ambiente fisicamente possível. Pode estar reproduzindo outras coisas também, inclusive ambientes fisicamente impossíveis, mas em particular há sempre algum ambiente fisicamente possível que ele está reproduzindo.

Então, quais ambientes fisicamente impossíveis podem ser reproduzidos na realidade virtual? Precisamente os que não são perceptivelmente diferentes dos ambientes fisicamente possíveis. Portanto, a conexão entre o mundo físico e os mundos reproduzíveis na realidade virtual está muito mais próxima do que parece. Pensamos em algumas reproduções de realidade virtual como representando fatos e outras como representando ficção, mas a ficção é sempre uma interpretação na mente de quem olha. Não existe um ambiente de realidade virtual que o usuário seria compelido a interpretar como fisicamente impossível.

Podemos reproduzir um ambiente como foi previsto por algumas “leis da física” que são diferentes das verdadeiras leis da física. Podemos fazer isso como um exercício, ou por brincadeira, ou como uma aproximação porque a verdadeira reprodução é muito difícil ou cara. Se as leis que estamos usando são tão próximas quanto podemos fazê-las a partir das verdadeiras, dadas as restrições sob as quais estamos operando, podemos chamar essas reproduções de “matemática aplicada” ou “computação”. Se os objetos reproduzidos são muito diferentes dos fisicamente possíveis, podemos chamar a reprodução de “matemática pura”. Se um ambiente fisicamente impossível é reproduzido

por brincadeira, podemos chamá-lo de “videogame” ou “arte de computador”. Tudo isso são interpretações. Elas podem ser úteis ou até essenciais para a explicação dos nossos motivos para compor determinada reprodução. Mas no que diz respeito à própria reprodução, há sempre uma interpretação alternativa, isto é, que ela representa com exatidão algum ambiente fisicamente possível.

Não é costumeiro pensar na matemática como uma forma de realidade virtual. Normalmente pensamos na matemática como referente a entidades abstratas, como números e conjuntos, os quais não afetam os sentidos; portanto, talvez parecesse que não poderia haver dúvidas sobre reproduzir artificialmente seus efeitos sobre nós. No entanto, embora as entidades matemáticas não afetem os sentidos, a experiência de fazer matemática é externa, não menos do que a experiência de fazer física. Fazemos marcas em pedaços de papel e olhamos para elas, ou imaginamos olhar para elas — na verdade, não podemos fazer matemática sem imaginar entidades matemáticas abstratas. Mas isso significa imaginar um ambiente cuja “física” incorpora as propriedades complexas e autônomas dessas entidades. Por exemplo, quando imaginamos o conceito abstrato de um segmento de linha que não tem espessura, podemos imaginar uma linha visível mas imperceptivelmente longa. Isso pode ser mais ou menos arranjado na realidade física. Mas, matematicamente, a linha deve continuar a não ter espessura quando a vemos com ampliação arbitrariamente poderosa. Isso não é uma propriedade de qualquer linha física, mas pode facilmente ser alcançado na realidade virtual da nossa imaginação.

Imaginação é uma forma direta de realidade virtual. O que pode não ser tão óbvio é que a nossa experiência “direta” do mundo por meio dos sentidos também é realidade virtual. Pois nossa experiência externa nunca é direta, nem mesmo sentimos os sinais nos nossos nervos diretamente — não saberíamos o que fazer com os fluxos de impulsos elétricos que eles carregam. O que experimentamos diretamente é uma representação em realidade virtual, convenientemente gerada para nós por nossa mente inconsciente a partir de dados sensoriais mais teorias inatas e adquiridas (isto é, programas) sobre como interpretá-los.

Nós, realistas, assumimos a visão de que a realidade está lá fora: objetiva, física e independente do que acreditamos a seu respeito. Mas nunca sentimos diretamente essa realidade. Cada fragmento da nossa experiência externa é de realidade virtual. E cada fragmento do nosso conhecimento —

incluindo nosso conhecimento dos mundos não físicos da lógica, matemática e filosofia, e da imaginação, ficção, arte e fantasia — é codificado na forma de programas para a reprodução desses mundos no gerador de realidade virtual do nosso próprio cérebro.

Portanto, não é apenas a ciência — raciocínio sobre o mundo físico — que envolve a realidade virtual. Todos os raciocínios, todos os pensamentos e todas as experiências externas são formas de realidade virtual. Essas coisas são processos físicos que até agora têm sido observados em apenas um lugar do universo, isto é, nas vizinhanças do planeta Terra. Veremos no Capítulo 8 que todos os processos vivos abrangem também a realidade virtual, mas os seres humanos em particular têm um relacionamento especial com ela. Falando biologicamente, a reprodução de realidade virtual do seu ambiente é o meio característico de os seres humanos sobreviverem. Em outras palavras, é a razão pela qual os seres humanos existem. O nicho ecológico ocupado pelos seres humanos depende tão direta e absolutamente da realidade virtual quanto o nicho ecológico ocupado pelos ursos coalas depende das folhas do eucalipto.

Terminologia Empregada no Capítulo

Gerador de imagens — Um dispositivo que pode gerar sensações especificáveis em um usuário.

Gerador universal de imagens — Um gerador de imagens que pode ser programado para gerar qualquer sensação que o usuário seja capaz de experimentar.

Experiência externa — A experiência de alguma coisa fora da própria mente.

Experiência interna — A experiência de alguma coisa dentro da própria mente.

Fisicamente possível — Não proibido pelas leis da física. Um ambiente é fisicamente possível se, e somente se, existe em algum lugar do multiverso (na suposição de que as condições iniciais e todos os outros dados suplementares do multiverso sejam determinados por algumas leis ainda desconhecidas da física).

Logicamente possível — Autoconsistente.

Realidade virtual — Qualquer situação em que é dada ao usuário a experiência de estar em um ambiente específico.

Repertório — O repertório de um gerador de realidade virtual é o conjunto de ambientes com que o gerador pode ser programado para dar ao

usuário a experiência desses ambientes.

Imagem — Alguma coisa que dá origem a sensações.

Exatidão — Uma imagem é tão exata quanto as sensações que ela cria estão próximas das sensações pretendidas. Um ambiente reproduzido é tão exato quanto responderia da maneira pretendida a todas as ações possíveis do usuário.

Exatidão perfeita — Exatidão tão grande que o usuário não pode distinguir a imagem ou ambiente reproduzido do que foi pretendido.

Resumo

A realidade virtual não é apenas uma tecnologia com que os computadores simulam o comportamento de ambientes físicos. O fato de a realidade virtual ser possível é importante para a estrutura da realidade. É a base não somente da computação, mas da imaginação e da experiência externa humana, ciência e matemática, arte e ficção.

Quais são os limites derradeiros — o alcance total — da realidade virtual (e Consequentemente da computação, da ciência, da imaginação e o resto)? No capítulo seguinte, veremos que em um aspecto o alcance da realidade virtual é ilimitado, ao passo que em outro é drasticamente circunscrito.

6 Universalidade e os Limites da Computação

O coração de um gerador de realidade virtual é seu computador, e a questão de quais ambientes podem ser reproduzidos em realidade virtual deverá afinal chegar à questão de quais cálculos podem ser efetuados. Mesmo atualmente os repertórios dos geradores de realidade virtual são limitados tanto por seus computadores quanto por seus geradores de imagens. Sempre que um novo computador mais rápido, com mais memória e melhor hardware de processamento de imagens é incorporado a um gerador de realidade virtual, o repertório é aumentado. Mas isso acontecerá sempre, ou finalmente encontraremos a universalidade total, como afirmei que devemos esperar no caso dos geradores de imagens? Em outras palavras, existe um único gerador de realidade virtual, que possa ser construído de uma vez por todas, e programado para reproduzir qualquer ambiente que a mente humana é capaz de experimentar?

Da mesma forma que no caso dos geradores de imagens, não queremos dizer com isso que um único gerador de realidade virtual poderia conter em si mesmo as especificações de todos os ambientes logicamente possíveis. Queremos dizer apenas que, para cada ambiente logicamente possível, o gerador poderia ser programado para reproduzir esse ambiente. Podemos imaginar codificar os programas em discos magnéticos, por exemplo. Quanto mais complexo o ambiente, mais discos seriam necessários para armazenar o programa correspondente. Portanto, para reproduzir os ambientes complexos, a máquina deve ter um mecanismo, como descrevi para o gerador universal de imagens, que possa ler um número ilimitado de discos. Ao contrário do gerador de imagens, um gerador de realidade virtual pode precisar de uma quantidade crescente de “memória de trabalho” para armazenar os resultados intermediários de seus cálculos. Podemos imaginar isso sendo proporcionado por discos em branco. Mais uma vez, o fato de uma máquina precisar de fornecimento de energia, discos em branco e manutenção não nos impede de considerá-la “máquina única”, desde que essas operações não impliquem mudar o projeto da máquina e não sejam proibidas pelas leis da física.

Nesse sentido, pode-se imaginar, em princípio, um computador com capacidade de memória efetivamente ilimitada. Mas não um computador com velocidade ilimitada de cálculo. Um computador com dado projeto sempre terá uma velocidade máxima fixa, que só pode ser aumentada com alterações

de projeto. Portanto, um dado gerador de realidade virtual não poderá efetuar uma quantidade ilimitada de cálculo por unidade de tempo. Isso não limitaria seu repertório? Se um ambiente é tão complexo que o cálculo do que o usuário deverá ver daqui a um segundo ocupa a máquina por mais de um segundo, como a máquina pode reproduzir esse ambiente com exatidão? Para alcançar a universalidade, precisamos de mais um truque tecnológico.

Para estender seu repertório o máximo que for fisicamente possível, um gerador de realidade virtual teria de assumir o controle de mais um atributo do sistema sensorial do usuário, ou seja, a velocidade de processamento do seu cérebro. Se o cérebro humano fosse como um computador eletrônico, isso seria simplesmente uma questão de mudar o ritmo em que o seu "relógio" emite pulsos de sincronização. Sem dúvida o "relógio" do cérebro não será controlado com tanta facilidade. Mas, outra vez, isso não representa problema de princípio. O cérebro é um objeto físico finito e todas as suas funções são processos físicos que, em princípio, podem ser desaceleradas ou interrompidas. O gerador de realidade virtual definitivo deveria ser capaz de fazer isso.

Para alcançar uma reprodução perfeita de ambientes que exigem muitos cálculos, um gerador de realidade virtual teria de operar de maneira parecida com o seguinte: cada nervo sensorial é fisicamente capaz de retransmitir sinais com um ritmo máximo, porque uma célula nervosa que disparou não pode disparar novamente até cerca de um milissegundo depois. Portanto, imediatamente depois de determinado nervo disparar, o computador tem pelo menos um milissegundo para decidir se e quando esse nervo deverá disparar outra vez. Se ele calculou essa decisão dentro de, digamos, meio milissegundo, não será necessário mexer na velocidade do cérebro e o computador meramente dispara o nervo nos tempos apropriados. Caso contrário, o computador faz com que o cérebro desacelere (ou pare, se necessário) até completar o cálculo do que deverá acontecer em seguida; então restaura a velocidade normal do cérebro. Como o usuário sentiria isso? Por definição, não sentiria nada. O usuário sentiria somente o ambiente especificado no programa, sem nenhuma desaceleração, interrupção ou reinicio. Felizmente, nunca é necessário que um gerador de realidade virtual faça com que o cérebro funcione mais rápido que o normal; isso possivelmente criaria problemas de princípio, porque, entre outras coisas, nenhum sinal pode viajar com velocidade maior que a da luz.

Esse método permite que especifiquemos antecipadamente um ambiente

arbitrariamente complicado, cuja simulação requeira qualquer quantidade finita de cálculo, e experimentemos esse ambiente com qualquer velocidade subjetiva e nível de detalhes que nossa mente seja capaz de assimilar. Se os cálculos necessários forem numerosos demais para o computador efetuar dentro do tempo percebido subjetivamente, a experiência não será afetada, mas o usuário pagará por sua complexidade em termos de tempo decorrido externamente. Ele poderia sair do gerador de realidade virtual depois do que pareceria subjetivamente uma experiência de cinco minutos, para descobrir que haviam se passado anos na realidade física.

Um usuário cujo cérebro é desligado, durante qualquer tempo, e depois religado tem uma experiência ininterrupta de algum ambiente. Mas um usuário cujo cérebro é desligado para sempre não terá mais experiências daquele momento em diante. Isso significa que um programa que pudesse, a certa altura, desligar o cérebro do usuário e nunca mais ligá-lo novamente, não geraria um ambiente para o usuário experimentar e, portanto, não se qualificaria como programa válido para um gerador de realidade virtual. Mas um programa que eventualmente sempre religa o cérebro do usuário faz com que o gerador de realidade virtual reproduza algum ambiente. Mesmo um programa que não emite sinais nervosos reproduz o ambiente escuro e silencioso do perfeito isolamento sensorial.

Em nossa busca pelo definitivo em realidade virtual nos desviamos muito do que é exequível hoje ou até do que está no horizonte de qualquer tecnologia previsível. Portanto, vamos enfatizar novamente que, para nossos objetivos atuais, os obstáculos tecnológicos são irrelevantes. Não estamos investigando que tipos de geradores de realidade virtual podem ser construídos, nem mesmo, necessariamente, que tipos serão algum dia construídos por engenheiros humanos. Estamos investigando o que as leis da física permitem e o que não permitem no progresso da realidade virtual. O motivo pelo qual isso é importante não tem nada a ver com as perspectivas de fazer geradores de realidade virtual melhores. É que a relação entre a realidade virtual e a realidade “comum” é parte da estrutura profunda e inesperada do mundo, da qual este livro trata.

Imaginando vários truques — estimulação nervosa, parar e iniciar o cérebro e assim por diante — conseguimos idealizar um gerador de realidade virtual fisicamente possível cujo repertório cobre toda a faixa sensorial, é totalmente interativo e não é restringido pela velocidade ou capacidade de memória do seu computador. Existe alguma coisa fora do repertório desse

gerador de realidade virtual? Seu repertório seria o conjunto de todos os ambientes logicamente possíveis? Não seria. Até mesmo o repertório dessa máquina futurista é drasticamente circunscrito pelo mero fato de ser um objeto físico. Ele nem mesmo arranha a superfície do que é logicamente possível, como mostrarei agora.

A ideia básica da prova — conhecida como argumento diagonal — é anterior à ideia da realidade virtual. Ela foi usada pela primeira vez pelo matemático do século XIX Georg Cantor para provar que existem infinitas quantidades maiores do que a infinidade dos números naturais (1, 2, 3...). A mesma forma de prova está no coração da moderna teoria da computação desenvolvida por Alan Turing e outros nos anos 30. Também foi usada por Kurt Gödel para provar seu célebre "teorema da incompletude", sobre o qual veremos mais no Capítulo 10.

Cada ambiente do repertório da nossa máquina é gerado por algum programa para seu computador. Imagine o conjunto de todos os programas válidos para esse computador. De um ponto de vista físico, cada programa especifica determinado conjunto de valores para variáveis físicas, nos discos ou outros meios, que representam o programa do computador.

Sabemos da teoria quântica que todas essas variáveis são quantizadas e, portanto, que, não importa como o computador funcione, o conjunto de programas possíveis é discreto. Cada programa pode portanto ser expresso como uma sequência finita de símbolos em um código discreto ou linguagem de computador. Existe uma infinidade desses programas, mas cada um só pode conter um número finito de símbolos. Isso porque os símbolos são objetos físicos, feitos de matéria em configurações reconhecíveis e não se pode criar um número infinito deles. Como explicarei no Capítulo 10, esses requisitos intuitivamente óbvios — que os programas devem ser quantizados e que cada um deles deve consistir em um número finito de símbolos e pode ser executado em uma sequência de passos — são mais substantivos do que parecem. Eles são as únicas consequências das leis da física necessárias como entrada para a prova, mas são suficientes para impor restrições drásticas ao repertório de qualquer máquina fisicamente possível. Outras leis físicas podem impor até mais restrições, mas elas não afetariam as conclusões deste capítulo.

Agora vamos imaginar esse conjunto infinito de programas possíveis organizados como uma lista infinitamente longa e numerada como Programa 1, Programa 2 e assim por diante. Eles poderiam, por exemplo, ser arranjados

em ordem “alfabética” em relação aos símbolos em que são expressos. Como cada programa gera um ambiente, essa lista pode também ser considerada uma lista de todos os ambientes do repertório da máquina; podemos chamá-los de Ambiente 1, Ambiente 2 etc. Alguns dos ambientes podem estar repetidos na lista, porque dois programas diferentes poderiam executar os mesmos cálculos, mas isso não afetará o argumento. O importante é que cada ambiente do repertório da nossa máquina deve aparecer pelo menos uma vez na lista.

Um ambiente simulado pode ser limitado ou ilimitado em tamanho físico e duração aparentes. A simulação de uma casa por um arquiteto, por exemplo, pode ser executada por tempo ilimitado, mas provavelmente terá um volume limitado. Um videogame poderia permitir ao usuário somente um tempo finito de jogo antes do seu final ou reproduzir um universo de jogo de tamanho ilimitado, permitir uma quantidade ilimitada de explorações e terminar somente quando o usuário deliberadamente o encerrasse. Para tornar a prova mais simples, vamos considerar somente programas que continuam sendo executados para sempre. Isso não é uma restrição muito grande, porque, se um programa parar, sempre poderemos optar por considerar sua falta de resposta como sendo a resposta de um ambiente de isolamento sensorial.

Vou definir uma classe de ambientes logicamente possíveis que chamarei de ambientes Cantgotu, parcialmente em honra de Cantor, Gödel e Twring, e parcialmente por um motivo que explicarei em breve. Eles são definidos como a seguir. Para o primeiro minuto subjetivo, um ambiente Cantgotu comporta-se de modo diferente do Ambiente 1 (gerado pelo Programa 1 do nosso gerador). Não faz diferença como ele se comporta, desde que, para o usuário, seja reconhecivelmente diferente do Ambiente 1. Durante o segundo minuto, ele se comporta de modo diferente do Ambiente 2 (embora agora lhe seja permitido parecer-se novamente com o Ambiente 1). Durante o terceiro minuto, ele se comporta de modo diferente do Ambiente 3, e assim por diante. A qualquer ambiente que satisfaça essas regras chamarei de ambiente Cantgotu.

Agora, como um ambiente Cantgotu não se comporta exatamente como o Ambiente 1, ele não pode ser o Ambiente 1; como ele não se comporta exatamente como o Ambiente 2, não pode ser o Ambiente 2. Como é garantido que mais cedo ou mais tarde ele se comportará de modo diferente do Ambiente 3, Ambiente 4 e todos os outros ambientes da lista, também não

pode ser nenhum desses. Mas a lista contém todos os ambientes que são gerados por todos os programas possíveis para essa máquina. Disso resulta que nenhum dos ambientes Cantgotu está no repertório da máquina. Os ambientes Cantgotu são ambientes aos quais não podemos ir usando esse gerador de realidade virtual.

Claramente existe uma imensa quantidade de ambientes Cantgotu, porque a definição deixa enorme liberdade para escolher como eles devem se comportar, sendo que a única restrição é que durante cada minuto eles não devem se comportar de um modo particular. Pode ser provado que, para cada ambiente do repertório de dado gerador de realidade virtual, existem infinitos ambientes Cantgotu que ele não pode reproduzir. Também não existe muito espaço para estender o repertório usando um conjunto de diferentes geradores de realidade virtual. Suponha que tivéssemos uma centena deles, cada um (para argumentar) com um repertório diferente. A coleção inteira, combinada com o sistema de controle programável que determina qual deles será usado para executar dado programa, é apenas um gerador de realidade virtual maior. Esse gerador está sujeito ao argumento que apresentei, portanto, para cada ambiente que ele pode reproduzir, há infinitos outros que não pode. Além disso, a suposição de que geradores de realidade virtual diferentes poderiam ter repertórios diferentes acaba sendo otimista demais. Como veremos em breve, todos os geradores de realidade virtual suficientemente sofisticados têm essencialmente o mesmo repertório.

Assim, nosso projeto hipotético de construir o gerador de realidade virtual definitivo, que estava indo tão bem, subitamente se espatifou. Quaisquer que sejam os melhoramentos que possamos fazer no futuro distante, o repertório da tecnologia inteira da realidade virtual nunca aumentará além de certo conjunto fixo de ambientes. Reconhecidamente esse conjunto é infinitamente grande e muito diversificado quando comparado com a experiência humana de antes da tecnologia da realidade virtual. Não obstante, ele é apenas uma fração infinitesimal do conjunto de todos os ambientes logicamente possíveis.

Qual seria a sensação de estar em um ambiente Cantgotu? Embora as leis da física não nos permitam estar em um ambiente desses, ainda é logicamente possível e, portanto, legítimo perguntar qual seria a sensação. Certamente, ele não poderia nos dar nenhuma sensação nova, porque um gerador universal de imagens é possível e aceito como parte do nosso gerador de realidade virtual de alta tecnologia. Portanto, um ambiente Cantgotu nos

pareceria misterioso somente depois que o tivéssemos experimentado e refletido sobre os resultados. Seria alguma coisa como isto: suponha que você seja um entusiasta da realidade virtual no futuro distante da ultra tecnologia. Você ficou saturado porque parece que já experimentou tudo que é interessante. Mas um dia aparece um gênio e afirma ser capaz de transportá-lo para um ambiente Cantgotu. Você está cético, mas concorda em colocar à prova a afirmação do gênio. Você é levado rapidamente para o ambiente. Depois de alguns experimentos, tem a impressão de reconhecê-lo, pois ele responde da mesma forma que os seus ambientes favoritos, que no seu sistema de realidade virtual doméstico têm o programa número X. Entretanto, você continua experimentando e eventualmente, durante o Xésimo minuto subjetivo da experiência, o ambiente responde de maneira marcadamente diferente de qualquer coisa que o Ambiente X responderia. Portanto, você desiste da ideia de que este é o Ambiente X. Então você nota que tudo o que aconteceu até agora também é consistente com outro ambiente reproduzível, o Ambiente Y. Mas, durante o Yésimo minuto subjetivo, é provado que você está errado outra vez. A característica de um ambiente Cantgotu é simplesmente esta: não importa quantas vezes você adivinhe, não importa quão complexo seja um programa que você considere como sendo aquele que poderia estar reproduzindo o ambiente, sempre será provado que você está errado, porque nenhum, programa o reproduzirá no seu gerador de realidade virtual ou em qualquer outro.

Mais cedo ou mais tarde você terá de encerrar o teste. A essa altura você pode decidir reconhecer a afirmação do gênio. Isso não significa que você poderia em alguma ocasião provar que esteve em um ambiente Cantgotu, pois sempre há um programa ainda mais complexo que o gênio poderia estar executando, que corresponderia à sua experiência até este ponto. Essa é apenas a característica geral da realidade virtual que já discuti, isto é, que a experiência não pode provar que alguém está em dado ambiente, seja ele a Quadra Central de Wimbledon ou um ambiente do tipo Cantgotu.

De qualquer forma, não existem gênios como estes, nem esses ambientes. Portanto, devemos concluir que a física não permite que o repertório de um gerador de realidade virtual seja tão grande quanto somente a lógica permitiria. Qual pode ser o seu tamanho?

Desde que não podemos esperar reproduzir todos os ambientes logicamente possíveis, vamos considerar um tipo mais fraco (mas no fim das contas mais interessante) de universalidade. Vamos definir um gerador

universal de realidade virtual como aquele cujo repertório contém os repertórios de todos os outros geradores de realidade virtual fisicamente possíveis. Uma máquina assim pode existir? Pode. Pensar em dispositivos futuristas baseados em estimulação nervosa controlada por computador torna isso óbvio — na verdade, quase óbvio demais. Tal máquina poderia ser programada para ter as características de qualquer máquina rival. Poderia calcular como aquela máquina responderia, sob qualquer programa dado, a qualquer comportamento do usuário, e portanto poderia reproduzir essas respostas com perfeita exatidão (do ponto de vista de qualquer usuário dado). Digo que isso é "quase óbvio demais" porque contém uma suposição importante sobre o que o dispositivo proposto e, mais especificamente, seu computador, poderia ser programado a fazer: dados o programa apropriado, tempo e meio de armazenamento suficientes, ele poderia calcular o resultado de qualquer cálculo executado por qualquer outro computador, incluindo o do gerador de realidade virtual rival. Assim, a exequibilidade de um gerador universal de realidade virtual depende da existência de um computador universal — uma única máquina que pode calcular qualquer coisa que possa ser calculada.

Como eu disse, esse tipo de universalidade não foi estudado pela primeira vez por físicos, mas por matemáticos. Eles estavam tentando tornar precisa a noção intuitiva de "computar" (ou "calcular" ou "provar") alguma coisa em matemática. Eles não levaram em consideração o fato de que o cálculo matemático é um processo físico (particularmente, como já expliquei, é um processo de reprodução de realidade virtual), de forma que é impossível determinar por raciocínio matemático o que pode ou não pode ser calculado matematicamente. Isso depende inteiramente das leis da física. Mas, em vez de tentar deduzir seus resultados das leis da física, os matemáticos postularam modelos abstratos de "computação" e definiram o "cálculo" e a "prova" em termos desses modelos. (Discutirei esse erro interessante no Capítulo 10.) Assim aconteceu que, durante um período de alguns meses, em 1936, três matemáticos, Emil Post, Alonzo Church e, mais influentemente, Alan Turing, criaram independentemente os primeiros projetos abstratos de computadores universais. Cada um deles conjeturou que seu modelo de "computação" formalizava corretamente a noção tradicional e intuitiva de "computação" matemática. Consequentemente, cada um deles conjeturou também que seu modelo era equivalente a (tinha o mesmo repertório que) qualquer outra formalização razoável da mesma intuição. Atualmente isso é

conhecido como a conjetura de Church-Turing.

O modelo de computação de Turing e seu conceito da natureza do problema que estava solucionando foi o mais próximo de ser físico. Seu computador abstrato, a máquina de Turing, foi abstraído da ideia de uma fita de papel dividida em quadrados, com um de um número finito de símbolos facilmente distinguíveis escrito em cada quadrado. A computação era executada examinando um quadrado de cada vez, movendo a fita para trás ou para a frente e apagando ou escrevendo um dos símbolos de acordo com regras simples e sem ambiguidade. Turing provou que determinado computador desse tipo, a máquina universal de Turing, tinha o repertório combinado de todas as outras máquinas de Turing. Ele conjeturou que esse repertório consistia precisamente em "todas as funções que seriam naturalmente consideradas computáveis". Ele queria dizer computáveis por matemáticos.

Mas os matemáticos são objetos físicos muito atípicos. Por que deveríamos assumir que reproduzi-los no ato de executar cálculos é o máximo em tarefas de computação? Acontece que não é. Como explicarei no Capítulo 9, computadores quânticos podem efetuar cálculos que nenhum matemático (humano), mesmo em princípio, jamais será capaz de fazer. É implícito no trabalho de Turing que ele esperava que o que "seria naturalmente considerado como computável" também seria, pelo menos em princípio, o que pode ser computado na natureza. Essa expectativa é equivalente a uma versão física mais forte da conjetura de Church-Turing. O matemático Roger Penrose sugeriu que ela devia ser chamada de princípio de Turing.

O princípio de Turing

(para computadores abstratos simulando objetos físicos)

Existe um computador universal abstrato cujo repertório inclui qualquer cálculo que qualquer objeto fisicamente possível pode efetuar.

Turing acreditava que o "computador universal" em questão era a máquina universal de Turing. Para levar em conta o repertório mais amplo dos computadores quânticos, expressei o princípio em uma forma que não especifica qual "computador abstrato" em particular faz o trabalho.

A prova que forneci da existência dos ambientes Cantgotu é essencialmente devida a Turing. Como já disse, ele não estava pensando explicitamente em termos de realidade virtual, mas um "ambiente que pode ser reproduzido" corresponde a uma classe de perguntas matemáticas cujas

respostas podem ser calculadas. Essas perguntas são computáveis. O restante, as perguntas para as quais não existe meio de calcular a resposta, são chamadas não computáveis. Se uma pergunta é não computável, isso não significa que não tem resposta ou que sua resposta é, em qualquer sentido, mal definida ou ambígua. Ao contrário, significa que ela definitivamente tem uma resposta. Ocorre apenas que fisicamente não há meios, mesmo em princípio, de obter essa resposta (ou, mais precisamente, como sempre podemos fazer uma adivinhação sortuda e não verificável, de provar que ela é a resposta). Por exemplo, um par primo é um par de números primos cuja diferença é 2, como 3 e 5 ou 11 e 13- Os matemáticos tentaram em vão responder à pergunta se existe um número infinito desses pares ou somente um número finito deles. Nem mesmo é sabido se essa pergunta é computável. Vamos supor que não seja. Isso equivale a dizer que ninguém e nenhum computador jamais poderá produzir uma prova de que há apenas uma quantidade finita de pares primos ou de que há uma quantidade infinita deles. Mesmo assim, a pergunta tem uma resposta: podemos dizer com certeza ou que existe um par primo máximo ou que existe uma quantidade infinita de pares primos; não existe uma terceira possibilidade. A pergunta permanece bem definida, embora nunca possamos saber a resposta.

Em termos de realidade virtual: nenhum gerador de realidade virtual fisicamente possível pode reproduzir um ambiente no qual as respostas a perguntas não computáveis são fornecidas ao usuário mediante solicitação. Tais ambientes são do tipo Cantgotu. E, inversamente, todo ambiente Cantgotu corresponde a uma classe de perguntas matemáticas (“o que aconteceria a seguir em um ambiente definido de tal e tal forma?”) às quais é fisicamente impossível responder.

Embora perguntas não computáveis sejam infinitamente mais numerosas que as computáveis, elas tendem a ser mais esotéricas. Isso não é um acidente. Ocorre porque as partes da matemática que tendemos a considerar menos esotéricas são as que vemos refletidas no comportamento dos objetos físicos em situações familiares. Nesses casos, podemos muitas vezes usar esses objetos físicos para responder a perguntas sobre os relacionamentos matemáticos correspondentes. Por exemplo, podemos contar com nossos dedos porque a física dos dedos naturalmente imita a aritmética dos números inteiros de zero a dez.

Os repertórios dos três computadores abstratos muito diferentes definidos por Turing, Church e Post rapidamente provaram ser idênticos.

Assim aconteceu com os repertórios de todos os modelos abstratos de computação matemática que desde então foram propostos. Isso é considerado como fornecendo um apoio à conjetura de Church-Turing e à universalidade da máquina universal de Turing. Entretanto, o poder de cálculo de máquinas abstratas não tem relação com o que é computável na realidade. O alcance da realidade virtual, e suas mais amplas implicações para a compreensibilidade da natureza e outros aspectos da estrutura da realidade, depende de os computadores relevantes serem fisicamente realizáveis. Em particular, qualquer computador universal genuíno deve ser fisicamente realizável. Isso leva a uma versão mais forte do princípio de Turing:

O princípio de Turing

(para computadores físicos simulando uns aos outros).

É possível construir um computador universal: uma máquina que pode ser programada para efetuar qualquer cálculo que qualquer outro objeto físico pode efetuar.

Segue-se que, se um gerador universal de imagens fosse controlado por um computador universal, a máquina resultante seria um gerador universal de realidade virtual. Em outras palavras, o princípio seguinte também é válido:

O princípio de Turing

(para geradores de realidade virtual reproduzindo uns aos outros)

É possível construir um gerador de realidade virtual cujo repertório inclua os de todos os outros geradores de realidade virtual fisicamente possíveis.

Qualquer ambiente pode ser reproduzido por um gerador de realidade virtual de algum, tipo (por exemplo, sempre se pode considerar uma cópia desse mesmo ambiente como um gerador de realidade virtual com talvez um repertório muito pequeno). Portanto, também resulta dessa versão do princípio de Turing que qualquer ambiente fisicamente possível pode ser reproduzido pelo gerador universal de realidade virtual. Portanto, para exprimir a autosemelhança muito forte que existe na estrutura da realidade, englobando não apenas cálculos mas todos os processos físicos, o princípio de Turing pode ser expresso nesta forma abrangente:

O princípio de Turing.

É possível construir um gerador de realidade virtual cujo repertório inclua todos os ambientes fisicamente possíveis.

Essa é a forma mais forte do princípio de Turing. Ela não somente nos

diz que várias partes da realidade podem se assemelhar umas às outras, mas também que um único objeto físico, que pode ser construído de uma vez por todas (a não ser pela manutenção e pelo fornecimento de memória adicional quando necessário), pode executar com exatidão ilimitada as tarefas de descrever ou imitar qualquer outra parte do multiverso. O conjunto de todos os comportamentos e respostas desse objeto espelha exatamente o conjunto de todos os comportamentos e respostas de todos os outros objetos e processos fisicamente possíveis.

Esse é exatamente o tipo de autosemelhança que é necessário se, de acordo com a esperança que expressei no Capítulo 1, a estrutura da realidade deve ser verdadeiramente unificada e compreensível. Se as leis da física, como se aplicam a qualquer objeto ou processo físico, devem ser compreensíveis, devem ser capazes de ser incorporadas em outro objeto físico — o conhecedor. Também é necessário que os processos capazes de criar tal conhecimento sejam fisicamente possíveis. Tais processos são chamados de ciência. A ciência depende de testes experimentais, o que significa reproduzir fisicamente as previsões de uma lei e compará-la com a (reprodução da) realidade. Depende também de explicação e isso requer que as próprias leis abstratas, não meramente seu conteúdo de previsões, sejam capazes de ser reproduzidas na realidade virtual. Esta é uma ordem elevada, mas a realidade a satisfaz. É o mesmo que dizer que as leis da física a satisfazem. As leis da física, por estarem de acordo com o princípio de Turing, tornam fisicamente possível que essas mesmas leis sejam conhecidas para objetos físicos. Assim, as leis da física podem ser ditas como mandatárias de sua própria compreensibilidade.

Como é impossível construir um gerador universal de realidade virtual, ele deve estar realmente construído em alguns universos. Aqui é necessária uma advertência. Como expliquei no Capítulo 3, podemos normalmente definir um processo fisicamente possível como o que realmente ocorre em algum lugar do multiverso. Mas falando estritamente, um gerador universal de realidade virtual é um caso limite que requer recursos arbitrariamente grandes para operar. Então, o que realmente queremos dizer com ser “fisicamente possível” é que geradores de realidade virtual com repertórios arbitrariamente próximos do conjunto de todos os ambientes fisicamente possíveis existem no multiverso. De modo semelhante, como as leis da física podem ser reproduzidas, elas são reproduzidas em algum lugar. Assim, resulta do princípio de Turing (na forma forte pela qual argumentei) que as

leis da física não ordenam meramente sua compreensibilidade em um sentido abstrato — a compreensibilidade por cientistas abstratos, nestas circunstâncias. Elas implicam a existência física, em algum lugar do multiverso, de entidades que as entendem arbitrariamente bem. Discutirei esta implicação mais adiante, em outros capítulos.

Agora volto para a questão que coloquei no capítulo anterior, isto é, se tivéssemos de aprender somente com uma reprodução de realidade virtual baseada em leis erradas da física, se deveríamos esperar aprender as leis erradas. A primeira coisa a enfatizar é que nós temos somente realidade virtual baseada nas leis erradas com a qual aprender! Como eu disse, todas as nossas experiências externas são de realidade virtual, geradas por nosso próprio cérebro. E como nossos conceitos e teorias (inatos ou aprendidos) nunca são perfeitos, todas as nossas reproduções na verdade são inexatas. Isso significa que elas nos dão a experiência de um ambiente significativamente diferente do ambiente em que realmente estamos. As miragens e outras ilusões de óptica são exemplos disso. Outro é que sentimos a Terra em repouso sob nossos pés, apesar do seu rápido e complexo movimento na realidade. Outro é que experimentamos um universo único e uma única ocorrência do nosso eu consciente de cada vez, ao passo que na realidade existem muitos. Mas essas experiências inexatas e enganosas não fornecem argumento contra o raciocínio científico. Ao contrário, essas deficiências são seu verdadeiro ponto de partida.

Estamos envolvidos na solução de problemas sobre realidade física. Se acontecer que todo esse tempo estivemos meramente estudando a programação de um planetário cósmico, então isso significaria apenas que estivemos estudando uma parte menor do que pensávamos da realidade. E daí? Essas coisas aconteceram muitas vezes na história da ciência, à medida que nossos horizontes se expandiram para além da Terra, abrangendo o sistema solar, nossa galáxia, outras galáxias, agrupamentos de galáxias e assim por diante e, é claro, universos paralelos. Outra expansão como essa poderá acontecer amanhã; na verdade, pode acontecer de acordo com qualquer uma de uma infinidade de teorias possíveis — ou pode nunca acontecer. Logicamente, devemos fazer uma concessão ao solipsismo e doutrinas correlatas, que a realidade sobre a qual estamos aprendendo poderia ser uma parte não representativa de uma estrutura maior, inacessível ou incompreensível. Mas a refutação geral que ofereci contra tais doutrinas nos mostra que é irracional construir sobre essa possibilidade. Seguindo Occam,

acolheremos tais teorias quando, e somente quando, elas oferecerem explicações melhores do que teorias rivais mais simples.

No entanto, há uma pergunta que ainda podemos fazer. Suponha que pessoas fossem aprisionadas em uma pequena parte não representativa da nossa própria realidade — por exemplo, dentro de um gerador universal de realidade virtual que foi programado com as leis erradas da física. O que esses prisioneiros poderiam aprender sobre nossa realidade externa? À primeira vista, parece impossível que eles pudessem descobrir qualquer coisa sobre ela. Parece que o máximo que eles poderiam descobrir seriam as leis da operação, isto é, o programa do computador que operaria sua prisão.

Mas não é assim! Mais uma vez, devemos ter em mente que, se os prisioneiros forem cientistas, estarão procurando explicações, bem como previsões. Em outras palavras, eles não ficarão contentes em meramente conhecer o programa que opera sua prisão: desejarão explicar a origem e os atributos das várias entidades que observam na realidade em que habitam, incluindo eles mesmos. Mas na maioria dos ambientes de realidade virtual não existem essas explicações, pois os objetos reproduzidos não têm origem ali, mas foram criados na realidade externa. Suponha que você esteja jogando um videogame de realidade virtual. Com o propósito de simplificar, suponha que o jogo seja essencialmente xadrez (talvez em uma versão de perspectiva pessoal, na qual você adota a personalidade do rei). Você usará os métodos normais da ciência para descobrir as “leis da física” desse ambiente e suas consequências emergentes. Aprenderá que o xeque-mate e o empate forçado são eventos “fisicamente” possíveis (isto é, possíveis segundo o seu melhor entendimento do funcionamento do ambiente), mas que uma posição com nove peões brancos não é “fisicamente” possível. Uma vez que você tenha entendido as leis suficientemente bem, observaria que o tabuleiro de xadrez é um objeto simples demais para ter, por exemplo, pensamentos e, Consequentemente, que os seus próprios processos de pensamento não podem ser governados somente pelas leis do xadrez. De modo semelhante, você poderia dizer que durante qualquer número de jogos de xadrez as peças nunca poderiam evoluir para configurações auto reprodutivas. E se a vida não pode evoluir no tabuleiro de xadrez, muito menos poderia a inteligência. Portanto, você inferiria também que os seus próprios processos de pensamento não poderiam ter se originado no universo no qual você encontrou a si mesmo. Portanto, mesmo se você tivesse vivido a vida toda dentro do ambiente reproduzido e também não tivesse suas próprias

lembranças do mundo externo para considerar, o seu conhecimento não estaria confinado a esse ambiente. Você saberia que, muito embora o universo parecesse ter certo esquema e obedecesse a certas leis, deveria haver um universo mais amplo fora dele, obedecendo a leis diferentes da física. E você poderia até adivinhar algumas das maneiras pelas quais essas leis mais amplas teriam de diferir das leis do tabuleiro de xadrez.

Arthur C. Clarke certa vez observou que “qualquer tecnologia suficientemente avançada é indistinguível da mágica”. Isso é verdadeiro, mas um tanto enganoso. E uma afirmação do ponto de vista de um pensador pré científico, que é o caminho inverso errado. O fato é que, para qualquer um que entenda o que é a realidade virtual, até mesmo a magia autêntica seria indistinguível da tecnologia, pois não existe espaço para magia em uma realidade compreensível. Qualquer coisa que pareça incompreensível é considerada pela ciência meramente como evidência de que há alguma coisa que ainda não entendermos, seja um truque de ilusionismo, tecnologia avançada ou uma nova lei da física.

O raciocínio que parte da premissa da nossa própria existência é chamado de raciocínio “antrópico”. Embora tenha alguma aplicabilidade na cosmologia, normalmente ele precisa ser suplementado por suposições substantivas sobre a natureza do “eu mesmo” antes de chegar a conclusões definidas. Mas o raciocínio antrópico não é a única maneira pela qual os ocupantes da nossa hipotética prisão de realidade virtual poderiam obter conhecimento de um mundo exterior. Qualquer uma das suas explicações em evolução do seu pequeno mundo poderia rapidamente alcançar uma realidade externa. Por exemplo, as próprias regras do xadrez contêm o que um jogador atento pode perceber como “evidência fóssil” de que essas regras tiveram uma história evolutiva: existem movimentos “excepcionais”, como rocar e capturar en passant, que aumentam a complexidade das regras mas melhoram o jogo. Ao explicar essa complexidade, conclui-se justificavelmente que as regras do xadrez nem sempre foram o que são agora.

No esquema popperiano das coisas, as explicações sempre levam a novos problemas que, por sua vez, requerem mais explicações. Se, depois de algum tempo, os prisioneiros falharem em melhorar suas explicações existentes, poderão naturalmente desistir, talvez concluindo falsamente que não existem explicações disponíveis. Mas se eles não desistirem, pensarão naqueles aspectos do seu ambiente que parecem inadequadamente explicados. Assim, se os carcereiros da alta tecnologia quisessem estar

confiantes de que seu ambiente reproduzido iludiria seus prisioneiros para sempre, fazendo-os pensar que não existe mundo exterior, fariam seu trabalho planejado para eles. Quanto mais tempo eles quisessem que durasse a ilusão, mais engenhoso teria de ser o programa. Não é suficiente impedir os prisioneiros de observar o exterior. O ambiente reproduzido também teria de ser tal que nenhuma explicação de qualquer coisa dentro dele jamais exigisse que se postulasse um lado exterior. Em outras palavras, o ambiente teria de ser contido em si mesmo no que se refere a explicações. Mas duvido que qualquer parte da realidade, exceto a coisa inteira, tenha essa propriedade.

Terminologia Empregada no Capítulo

Gerador universal de realidade virtual — Um gerador cujo repertório contém todos os ambientes fisicamente possíveis.

Ambientes de Cantgotu — Ambientes logicamente possíveis que não podem ser reproduzidos por nenhum gerador de realidade virtual fisicamente possível.

Argumento diagonal — Uma forma de prova na qual imaginamos fazer uma lista de um conjunto de entidades e então usamos a lista para construir uma entidade relacionada que não pode estar na lista.

Máquina de Turing — Um dos primeiros modelos abstratos de computação.

Máquina universal de Turing — Uma máquina de Turing com o repertório combinado de todas as outras máquinas de Turing.

Princípio de Turing (na sua forma mais forte) — É fisicamente possível construir um gerador universal de realidade virtual.

Com as suposições que tenho feito, isso implica não haver limite superior para a universalidade dos geradores de realidade virtual que realmente serão construídos em algum lugar do multiverso.

Resumo

O argumento diagonal mostra que a esmagadora maioria dos ambientes logicamente possíveis não pode ser reproduzida na realidade virtual. Eu os chamei de ambientes Cantgotu. Não obstante, existe uma autosemelhança abrangente na realidade física expressa no princípio de Turing: é possível construir um. gerador de realidade virtual cujo repertório inclua todos os ambientes fisicamente possíveis. Portanto, um objeto físico único que pode ser construído pode imitar todos os comportamentos e respostas de qualquer outro objeto ou processo fisicamente possível. Isso é o que torna a realidade compreensível.

Isso também torna possível a evolução dos organismos vivos. Entretanto, antes de discutir a teoria da evolução, que é o quarto elemento da explicação da estrutura da realidade, devo fazer uma breve digressão pela epistemologia.

7 Uma Conversa sobre Justificação (David e os Criptoindutivistas)

“Penso que solucionei um grande problema filosófico: o problema da indução”. Karl Popper

Como expliquei no prefácio, este livro não é principalmente uma defesa das teorias fundamentais dos quatro elementos principais; é uma investigação do que dizem essas teorias e de que tipo de realidade descrevem. Por isso não trato de teorias antagônicas em profundidade. No entanto, existe uma teoria contrária, ou seja, o senso comum, que a razão me obriga a refutar com detalhes sempre que ela parecer conflitar com o que estou afirmando. Por esse motivo apresentei no Capítulo 2 uma refutação completa do conceito do senso comum de que existe apenas um único universo. No Capítulo 11 farei a mesma coisa com a ideia de que o tempo “flui” ou que nossa consciência “move-se” através do tempo. No Capítulo 3 critiquei o indutivismo, o conceito do senso comum de que formamos teorias sobre o mundo físico generalizando os resultados das observações e que justificamos nossas teorias repetindo essas observações. Expliquei que a generalização indutiva a partir de observações é impossível e que a justificação indutiva não é válida. Expliquei que o indutivismo repousa sobre um conceito errôneo de ciência como busca de previsões com base em observações, em vez de buscar explicações em respostas a problemas. Também expliquei (seguindo Popper) como a ciência progride, ao supor novas explicações e então escolher as melhores por meio do experimento. Tudo isso é amplamente aceito por cientistas e filósofos da ciência. O que não é aceito pela maioria dos filósofos é que esse processo é justificado. Deixe-me explicar.

A ciência busca melhores explicações. Uma explicação científica dá conta de nossas observações postulando alguma coisa sobre como é a realidade e como ela funciona. Consideramos uma explicação melhor se tiver menos aspectos incompletos (como entidades cujas propriedades não são explicadas), exigir menos e mais simples postulados, for mais geral, entrosar-se mais facilmente com boas explicações de outros campos e assim por diante. Mas por que deveria uma explicação melhor ser o que sempre presumimos que ela é na prática, isto é, a indicação de uma teoria mais verdadeira? Por que uma explicação evidentemente ruim (digamos, uma que não tenha nenhum dos atributos citados acima) deveria necessariamente ser

falsa? De fato não existe conexão logicamente necessária entre a verdade e o poder da explicação. Uma explicação ruim (como o solipsismo) pode ser verdadeira. Até mesmo a melhor e mais verdadeira teoria disponível pode fazer uma previsão falsa em casos particulares e estes podem ser os mesmos casos em que confiamos na teoria. Nenhuma forma válida de raciocínio pode logicamente descartar essas possibilidades ou mesmo provar que elas são improváveis. Mas nesse caso, o que justifica nossa confiança nas nossas melhores explicações como guias para a tomada de decisões na prática? De forma mais geral, quaisquer que sejam os critérios que usemos para julgar teorias científicas, como poderia o fato de a teoria satisfazer esses critérios hoje implicar qualquer coisa sobre o que acontecerá se confiarmos na teoria amanhã?

Esta é a forma moderna do "problema da indução". A maioria dos filósofos está contente com a argumentação de Popper, de que novas teorias não são inferidas de alguma coisa, mas são meramente hipóteses. Eles aceitam também que o progresso científico é feito por meio de conjeturas e refutações (como foi descrito no Capítulo 3) e que teorias são aceitas quando todas as suas rivais são refutadas, e não em virtude dos numerosos casos que a confirmam. Eles aceitam que o conhecimento obtido dessa maneira tende, como resultado, a ser confiável. O problema é que eles não veem por que deveria ser. Os indutivistas tradicionais tentaram formular um "princípio da indução", que dizia que os casos que a confirmavam tornavam a teoria mais provável ou que "o futuro será semelhante ao passado" ou algo assim. Eles tentaram também formular uma metodologia científica indutiva, estabelecendo regras para que tipo de inferências se poderia retirar legitimamente de "dados". Todos falharam, pelos motivos que expliquei. Mas mesmo se tivessem alcançado sucesso, no sentido de construir um esquema que poderia ser seguido com êxito para criar conhecimento científico, isso não teria solucionado o problema da indução como é entendido hoje em dia. Pois nesse caso, a "indução" seria simplesmente outro modo possível de escolher teorias, e o problema continuaria sendo por que essas teorias deveriam ser uma base confiável para a ação. Em outras palavras, os filósofos que se preocupam com esse "problema da indução" não são indutivistas no sentido antiquado. Eles não tentam obter ou justificar nenhuma teoria indutivamente. Não esperam que o céu caia, mas não sabem como justificar essa expectativa.

Os filósofos de hoje anseiam por essa justificação que falta. Eles não

acreditam mais que a indução a proveria, embora tenham uma lacuna com forma de indução em seu esquema das coisas, da mesma forma que as pessoas religiosas que perderam a fé sofrem de uma "lacuna em forma de Deus" em seu esquema das coisas. Mas, na minha opinião, há pouca diferença entre ter uma lacuna em forma de X em um esquema das coisas e acreditar em X. Portanto, para me adaptar à concepção mais sofisticada do problema da indução, quero redefinir o termo "indutivista" para que signifique alguém que acredita que a invalidade da justificação indutivista é um problema para os alicerces da ciência. Em outras palavras, o indutivista acredita que existe uma lacuna que deve ser preenchida, se não por um princípio de indução, por alguma outra coisa. Alguns indutivistas não fazem objeção a serem chamados assim. Outros fazem, portanto vou chamá-los de criptoindutivistas.

A maioria dos filósofos contemporâneos é criptoindutivista. O que torna as coisas piores é que (como muitos cientistas) eles subestimam grosseiramente o papel da explicação no processo científico. Também faz isso a maioria dos anti indutivistas popperianos, que dessa forma são levados a negar que exista qualquer coisa como justificação (mesmo como tentativa). Isso abre uma nova lacuna explicativa no esquema deles das coisas. O filósofo John Worral dramatizou o problema da maneira que o vê em um diálogo imaginário entre Popper e vários outros filósofos, intitulado "Why Both Popper and Watkins Fail to Solve the Problem of Induction" (Por que Popper e Watkins Fracassam na Solução do Problema da Indução). O cenário é o topo da Torre Eiffel. Um dos participantes — o "Flutuador" — decide descer saltando para fora em vez de usar o elevador da maneira habitual. Os outros tentam persuadi-lo de que saltar significa morte certa. Eles usam os melhores argumentos científicos e filosóficos disponíveis. Mas o enfurecido Flutuador ainda espera flutuar até o chão em segurança e continua afirmando que não pode ser provado logicamente que nenhuma expectativa rival seja preferível com base na experiência passada.

Acredito que podemos justificar nossa expectativa de que o Flutuador morreria. A justificação (sempre como tentativa, é claro) vem das explicações oferecidas pelas teorias científicas relevantes. Até onde essas explicações são boas, é racionalmente justificado confiar nas previsões das teorias correspondentes. Portanto, em resposta a Worral, apresento agora um diálogo de minha autoria passado no mesmo lugar.

DAVID: Desde que li o que Popper tem a dizer sobre indução, acreditei

que ele, como afirmou, realmente solucionou o problema da indução. Mas poucos filósofos concordam. Por quê?

CRIPTOINDUTIVISTA: Porque Popper nunca tratou do problema da indução da forma como o entendermos. O que ele fez foi apresentar uma crítica ao indutivismo. O indutivismo disse que há uma forma "indutiva" de raciocínio que pode deduzir e justificar o uso de teorias gerais sobre o futuro, dada a evidência na forma de observações individuais feitas no passado. Ele sustenta que havia um princípio da natureza, o princípio da indução, que dizia alguma coisa assim: "observações feitas no futuro provavelmente vão se assemelhar a observações feitas sob circunstâncias semelhantes no passado". Foram feitas tentativas de formular isso de tal forma que realmente permitiria que se deduzissem, ou se justificassem, teorias gerais a partir de observações individuais. Todas as tentativas falharam. A crítica de Popper, embora influente entre cientistas (principalmente em conjunto com seu outro trabalho, a elucidação da metodologia da ciência), dificilmente era original. A fraqueza do indutivismo era conhecida quase desde quando ele foi inventado e certamente desde a crítica de David Hume sobre ele no começo do século XVIII. O problema da indução não é como justificar ou refutar o princípio da indução, mas, considerando como certo que não é válido, como justificar qualquer conclusão sobre o futuro a partir de evidência passada. E antes que você diga que não é preciso...

DAVID: Não é preciso.

CRIPTOINDUTTVISTA: Mas é preciso. Isso é o que é tão irritante sobre vocês, popperianos: vocês negam o óbvio. Obviamente a razão para não estarem agora pulando sobre este parapeito é, em parte, que vocês consideram justificado confiar na nossa melhor teoria da gravidade e injustificado confiar em certas outras teorias. (É claro que, com "nossa melhor teoria da gravidade" neste caso quero dizer mais do que apenas relatividade geral. Estou me referindo também a um conjunto complexo de teorias sobre outras coisas, como resistência do ar, fisiologia humana, elasticidade do concreto e a disponibilidade de dispositivos de resgate em pleno ar.)

DAVID: Sim, eu consideraria justificado confiar nessa teoria. De acordo com a metodologia popperiana, nesses casos deveríamos confiar na teoria mais corroborada, isto é, a que foi submetida aos testes mais rigorosos e sobreviveu, enquanto suas rivais foram refutadas.

CRIPTOINDUTIVISTA: Você diz "deveríamos" confiar na teoria mais

corroborada, mas exatamente por quê? Presumivelmente porque, de acordo com Popper, o processo de corroboração justificou a teoria, no mesmo sentido de que suas previsões têm maior probabilidade de ser verdadeiras do que as previsões de outras teorias.

DAVID: Bem, não mais prováveis do que todas as outras teorias, porque sem dúvida um dia teremos teorias da gravidade ainda melhores...

CRIPTOINDUTIVISTA: Veja. Por favor, vamos concordar em não passar rasteira um no outro com evasivas que não se relacionam com a substância do que estamos discutindo. É claro que um dia poderá haver uma teoria melhor para a gravidade, mas você tem de decidir se vai saltar agora, agora. E, dada a evidência disponível neste momento, você escolheu certa teoria para agir com base nela. E você a escolheu de acordo com os critérios popperianos porque acredita que esses critérios são os que têm maior probabilidade de selecionar teorias que fazem previsões verdadeiras.

DAVID: Sim.

CRIPTOINDUTIVISTA: Então, resumindo, você acredita que a evidência disponível atualmente justifica a previsão de que você morreria se saltasse sobre o parapeito.

DAVID: Não, não justifica.

CRIPTOINDUTIVISTA: Mas, diabos, você está se contradizendo. Agora mesmo você disse que a previsão é justificada.

DAVID: Ela é justificada. Mas não foi justificada pela evidência, se por "a evidência" você quer dizer todos os experimentos cujos resultados foram previstos corretamente pela teoria no passado. Como todos nós sabemos, essa evidência é consistente com uma infinidade de teorias, incluindo as que preveem cada resultado logicamente possível do meu salto sobre o parapeito.

CRIPTOINDUTIVISTA: Portanto, em vista disso, repito que o problema todo é encontrar o que justifica a previsão. Esse é o problema da indução.

DAVID: Bem, esse é o problema que Popper solucionou.

CRIPTOINDUTIVISTA: Isso é novidade para mim, e estudei Popper profundamente. Mas de qualquer modo, qual é a solução? Estou ansioso para ouvi-la. O que justifica a previsão, se não é a evidência?

DAVID: Argumento.

CRIPTOINDUTIVISTA: Argumento?

DAVID: Somente o argumento pode justificar qualquer coisa — tentativamente, é claro. Toda teorização está sujeita a erro e tudo mais. Mas,

não obstante, o argumento pode às vezes justificar teorias. É para isso que serve o argumento.

CRIPTOINDUTIVISTA: Penso que essa é mais uma das suas evasivas. Você não pode querer dizer que a teoria foi justificada por puros argumentos, como um teorema de matemática A evidência teve algum papel, com certeza.

DAVID: É claro. Esta é uma teoria empírica, portanto, de acordo com a metodologia científica popperiana, experimentos cruciais têm um papel central na decisão entre ela e suas rivais. As rivais foram refutadas; ela sobreviveu.

CRIPTOINDUTIVISTA: E em consequência dessa refutação e sobrevivência, que aconteceram no passado, a utilização prática da teoria para prever o futuro agora está justificada.

DAVID: Suponho que sim, embora pareça enganoso dizer “em consequência de” quando não estamos falando de uma dedução lógica.

CRIPTOINDUTIVISTA: Bem essa é novamente a questão toda: qual foi o tipo de consequência? Deixe-me tentar esclarecer. Você admite que foram ambos, o argumento e os resultados de experimentos que justificaram a teoria. Se os experimentos tivessem resultado de forma diferente, o argumento teria justificado uma teoria diferente. Portanto, você aceita que nesse sentido — sim, por meio do argumento, mas não quero ficar repetindo essa condição — os resultados de experimentos passados justificaram a previsão?

DAVID: Sim.

CRIPTOINDUTIVISTA: Então o que, exatamente, havia nesses resultados anteriores que justificaram a previsão, em oposição a outros resultados passados possíveis que poderiam ter justificado a previsão contrária?

DAVID: Foi que os resultados reais refutaram todas as teorias rivais e corroboraram a teoria que agora prevalece.

CRIPTOINDUTIVISTA: Bom. Agora ouça com cuidado, porque você acabou de dizer alguma coisa que não apenas pode ser provada como falsa, mas que você mesmo admitiu que era falsa há alguns momentos. Você diz que os resultados de experimentos “refutaram todas as teorias rivais”. Mas você sabe muito bem que nenhum conjunto de resultados de experimentos pode refutar todas as rivais possíveis de uma teoria geral. Você disse que qualquer conjunto de resultados anteriores é (cito) “consistente com uma infinidade de teorias, incluindo teorias que preveem cada consequência

logicamente possível de eu saltar sobre o parapeito". Conclui-se inexoravelmente que a previsão que você defende não foi justificada pelos resultados experimentais, porque existem infinitas outras rivais da sua teoria, também irrefutadas até agora, que fazem a previsão contrária.

DAVID: Estou feliz por ter ouvido cuidadosamente, como você pediu, pois agora vejo que pelo menos parte da diferença entre nós foi causada por uma falha de entendimento da terminologia. Quando Popper fala de "teorias rivais" de dada teoria, não quer dizer o conjunto de todas as rivais logicamente possíveis: quer dizer apenas as rivais de fato, aquelas propostas durante uma controvérsia racional. (Isso inclui teorias "propostas" de maneira puramente mental, por uma pessoa, durante uma "controvérsia" dentro de sua mente.)

CRIPTOINDUTIVISTA: Entendo. Bem, aceito a sua terminologia. Mas, incidentalmente (não acho que tenha importância para os propósitos atuais, mas estou curioso), não é uma afirmação estranha que você está atribuindo a Popper, que a confiabilidade de uma teoria depende da contingência de que outras teorias — teorias falsas — as pessoas propuseram no passado, em vez de somente o conteúdo da teoria em questão e da evidência experimental?

DAVID: Realmente não. Até mesmo vocês, indutivistas, falam de...

CRIPTOINDUTIVISTA: Eu não sou um indutivista!

DAVID: Sim, você é.

CRIPTOINDUTIVISTA: Hmph! Mais uma vez, aceitarei a sua terminologia, se você insiste. Mas você poderia da mesma forma me chamar de porco-espinho. E realmente uma perversidade chamar uma pessoa de "indutivista" se toda a tese dessa pessoa é que a invalidade do raciocínio indutivo nos apresenta um problema filosófico não resolvido.

DAVID: Não penso assim. Acho que essa tese é o que define, e sempre definiu, um indutivista. Mas vejo que Popper conseguiu pelo menos uma coisa: a palavra "indutivista" tornou-se um termo ofensivo! De qualquer forma, eu estava explicando por que não é tão estranho que a confiabilidade de uma teoria deve depender das teorias falsas que as pessoas propuseram no passado. Mesmo os indutivistas falam de uma teoria ser confiável ou não, dada certa "evidência". Bem, os popperianos poderiam falar de uma teoria como sendo a melhor disponível para uso na prática, dada certa situação problemática. E as características mais importantes de uma situação problemática são: quais teorias e explicações estão em disputa, quais argumentos foram apresentados e quais teorias foram refutadas.

“Corroboração” não é apenas a confirmação da teoria vencedora. Ela exige a refutação experimental de teorias rivais. A confirmação dos casos em si mesmos não tem significado.

CRIPTOINDUTIVISTA: Muito interessante. Agora entendo o papel das rivais refutadas de uma teoria na justificação de suas previsões. No indutivismo a observação deveria ser fundamental. Imaginava-se uma grande quantidade de observações anteriores das quais a teoria deveria ser induzida e as observações também constituíam a evidência que, de alguma forma, justificavam a teoria. No quadro popperiano do progresso científico, não são observações, mas problemas, controvérsias, teorias e crítica que são fundamentais. Experimentos são planejados e executados somente para resolver controvérsias. Portanto, somente os resultados experimentais que realmente refutam uma teoria (não apenas qualquer teoria, ela deve ter sido uma autêntica rival em uma controvérsia racional) constituem “corroboração”. E portanto são somente esses experimentos que oferecem evidência para a confiabilidade da teoria vencedora.

DAVID: Correto. E mesmo então a “confiabilidade” que a corroboração confere não é absoluta, mas apenas relativa às outras teorias rivais. Isto é, esperamos que a estratégia de confiar em teorias corroboradas selecione as melhores teorias entre aquelas que são propostas. Isso é uma base suficiente para a ação. Não precisamos (e não poderíamos obter validamente) qualquer garantia sobre quão boa será até mesmo a melhor linha de ação proposta. Além disso, podemos sempre estar enganados, mas e daí? Não podemos usar teorias que ainda não foram propostas; nem podemos corrigir erros que ainda não podemos ver.

CRIPTOINDUTIVISTA: É isso mesmo. Estou feliz por ter aprendido alguma coisa sobre metodologia científica. Mas agora — e espero que você não me ache descortês — devo chamar sua atenção mais uma vez para a pergunta que tenho feito o tempo todo. Suponha que uma teoria tenha passado por todo esse processo. Em certa ocasião ela teve rivais. Então foram feitos experimentos e todas as rivais foram refutadas. Mas ela própria não foi refutada; assim, ela foi corroborada. O que hã no fato de ela ser corroborada que justifique nossa confiança nela no futuro?

DAVID: Como todas suas rivais foram refutadas, elas não são mais racionalmente sustentáveis. A teoria corroborada é a única racionalmente sustentável que resta.

CRIPTOINDUTIVISTA: Mas isso apenas muda o foco da importância

futura da corroboração passada para a importância futura da refutação passada. O mesmo problema permanece. Por que, exatamente, uma teoria refutada experimentalmente "não é racionalmente sustentável"? É porque ter até mesmo uma única consequência falsa resulta em ela não poder ser verdadeira?

DAVID: Sim.

CRIPTOINDUTIVISTA: Mas certamente, no que diz respeito à aplicabilidade futura da teoria, essa não é uma crítica logicamente relevante. Admite-se que uma teoria refutada não possa ser universalmente verdadeira — em particular, não pode ter sido verdadeira no passado, quando foi testada. Mas poderia ainda ter muitas consequências verdadeiras e, em particular, poderia ser universalmente verdadeira no futuro.

DAVID: Essa terminologia de "verdadeira no passado" e "verdadeira no futuro" é enganosa. Cada previsão específica de uma teoria é verdadeira ou falsa; isso não pode mudar. O que você realmente quer dizer é que, embora a teoria refutada seja estritamente falsa, porque faz algumas previsões falsas, todas as suas previsões sobre o futuro poderiam não obstante ser verdadeiras. Em outras palavras, uma teoria diferente, que faz as mesmas previsões sobre o futuro mas previsões diferentes sobre o passado, poderia ser verdadeira.

CRIPTOINDUTIVISTA: Se você preferir. Então, em vez de perguntar por que uma teoria refutada não é racionalmente sustentável, eu deveria, falando estritamente, ter perguntado isto: por que a refutação de uma teoria também torna insustentável cada variante da teoria que concorda com ela sobre o futuro — mesmo uma variante que não foi refutada?

DAVID: Não é que a refutação torna essas teorias insustentáveis. É que às vezes elas já são insustentáveis, por serem explicações ruins. E é quando a ciência pode fazer progresso. Pois, para uma teoria vencer um argumento, todas as suas rivais devem ser insustentáveis, e isso inclui todas as variantes das rivais em que qualquer um tenha pensado. Mas lembre-se, são somente as rivais em que qualquer um tenha pensado que precisam ser insustentáveis. Por exemplo, no caso da gravidade, ninguém nunca propôs uma teoria sustentável que concorde com as teorias predominantes em todas as suas previsões testadas, mas difere em suas previsões sobre experimentos futuros. Tenho certeza de que essas teorias são possíveis — por exemplo, a sucessora da teoria predominante presumivelmente será uma delas. Mas se ninguém ainda pensou em tal teoria, como pode alguém agir sobre ela?

CRIPTOINDUTIVISTA: O que você quer dizer com "ninguém ainda

pensou em tal teoria”? Eu poderia facilmente pensar em uma agora mesmo.

DAVID: Duvido muito que possa.

CRIPTOINDUTIVISTA: É claro que posso. Aqui está ela: “Sempre que você, David, saltar de lugares altos de modo que, de acordo com a teoria predominante, isso o mataria, em vez disso você flutuará. A não ser por isso, a teoria predominante se mantém universalmente”. Eu afirmo a você que todo teste anterior da sua teoria também foi necessariamente um teste da minha, pois todas as previsões da sua teoria e da minha a respeito de experimentos anteriores são idênticas. Portanto, as rivais refutadas da sua teoria também eram as rivais refutadas da minha. E, portanto, minha nova teoria é corroborada exatamente como a sua teoria predominante. Então, como pode a minha teoria ser “insustentável”? Que falhas ela poderia ter que não sejam compartilhadas pela sua teoria?

DAVID: Quase todas as falhas das regras popperianas! A sua teoria é construída a partir da teoria predominante anexando uma qualificação inexplicada sobre a minha flutuação. Essa qualificação é, com efeito, uma nova teoria, mas você não apresentou argumento nem contra nem a favor da nova teoria sobre minhas propriedades gravitacionais. Você não sujeitou a sua nova teoria à crítica (além da que estou fazendo agora) e a nenhum teste experimental. Ela não soluciona — ou nem mesmo pretende solucionar — qualquer problema atual, nem você sugeriu um problema novo e interessante que ela pudesse solucionar. O pior de tudo é que a sua qualificação não explica nada, mas destrói a explicação da gravidade que é a base da teoria predominante. É essa explicação que justifica nossa confiança na teoria predominante e não na sua. Assim, por todos os critérios racionais, a qualificação que você propõe pode ser sumariamente rejeitada.

CRIPTOINDUTIVISTA: Eu não poderia dizer exatamente a mesma coisa sobre a sua teoria? Ela difere da minha somente pela mesma pequena qualificação, mas ao contrário. Você acha que eu devia ter explicado a minha qualificação, mas por que as nossas posições não são simétricas?

DAVID: Porque a sua teoria não tem uma explicação das suas previsões, e a minha tem.

CRIPTOINDUTIVISTA: Mas se a minha teoria tivesse sido proposta primeiro, teria sido a sua teoria a conter uma qualificação inexplicada e seria a sua teoria a “sumariamente rejeitada”.

DAVID: Isso é simplesmente falso. Qualquer pessoa racional que tivesse comparado a sua teoria com a predominante, mesmo que a sua tivesse

sido proposta em primeiro lugar, imediatamente rejeitaria a sua teoria em favor da teoria predominante. Pois o fato de a sua teoria ser uma modificação inexplicada de outra teoria é manifestado em sua própria apresentação dela.

CRIPTOINDUTIVISTA: Você quer dizer que a minha teoria tem a forma “tal teoria se mantém universalmente, exceto em tal situação”, mas não explico por que a exce¬ção se mantém?

DAVID: Exatamente.

CRIPTOINDUTIVISTA: Aha! Bem, acho que posso provar que você está errado aqui (com a ajuda do filósofo Nelson Goodman). Pense em uma variante da língua portuguesa que não possui o verbo “cair”. Em vez disso, ela tem um verbo “x-cair”, que significa “cair” exceto quando aplicado a você, que nesse caso significa “flutuar”. De modo semelhante, “x-cair” significa “flutuar”, exceto quando aplicado a você, caso em que significa “cair”. Nessa nova linguagem eu poderia expressar a minha teoria como a afirmação não qualificada “todos os objetos x-caem se não têm sustentação”. Mas a teoria predominante (que em português diz “todos os objetos caem se não têm sustentação”), na nova língua, teria de ser qualificada: “todos os objetos x-caem quando não têm sustentação, exceto David, que x-flutua”. Portanto, qual dessas duas teorias está qualificada depende da linguagem em que são expressas, não é verdade?

DAVID: Na forma, sim. Mas isso é uma trivialidade. A sua teoria contém, na substância, uma afirmação inexplicada, qualificando a teoria predominante. A teoria predominante é, na substância, a sua teoria despojada de uma qualificação inexplicada. Não importa como você a divida, isso é um fato objetivo, independente da linguagem.

CRIPTOINDUTIVISTA: Não vejo por quê. Você mesmo usou a forma da minha teoria para apontar a “qualificação desnecessária”. Você disse que ela era “manifesta” como uma cláusula adicional na minha declaração da teoria em português. Mas quando a teoria é traduzida para a minha linguagem, nenhuma qualificação é manifesta; e contrariamente, uma qualificação manifesta aparece na própria declaração da teoria predominante.

DAVID: Sim, mas nem todas as linguagens são iguais. Linguagens são teorias. Em seu vocabulário e gramática, elas incorporam afirmações substanciais sobre o mundo. Sempre que declaramos uma teoria, somente pequena parte do seu conteúdo é explicitada: o resto é levado pela linguagem. Como todas as teorias, as linguagens são inventadas e selecionadas por sua habilidade em solucionar certos problemas. Nesse caso os problemas são os

de expressar outras teorias de forma que seja conveniente aplicá-las, compará-las e criticá-las. Uma das maneiras mais importantes pelas quais as línguas solucionam esses problemas é incorporando, implicitamente, teorias que não são controversas e que são tomadas como certas, enquanto permitem que as coisas que precisam ser declaradas ou argumentadas sejam expressas sucintamente e de maneira limpa.

CRIPTOINDUTIVISTA: Eu aceito isso.

DAVID: Assim, não é por acidente que uma língua escolhe cobrir a base conceitual com um conjunto de conceitos em vez de outro. Ela reflete o estado atual da situação problemática de quem fala. É por isso que a forma da sua teoria, em português, é uma boa indicação do seu "status" vis-à-vis à situação problemática atual — quer solucione os problemas quer os exacerbe. Mas não é da forma da sua teoria que estou me queixando. É da sua substância. Minha queixa é que a sua teoria não soluciona nada e somente exacerba a situação problemática. Esse defeito é manifesto quando a teoria é expressa em português, e implícito quando é expressa na sua língua. Mas não menos severo por causa disso. Eu poderia declarar minha queixa igualmente bem em português, ou em um jargão científico, ou na língua proposta por você, ou em qualquer língua capaz de expressar a discussão que estamos tendo. (É uma máxima popperiana que se deve sempre desejar levar uma discussão na terminologia do oponente.)

CRIPTOINDUTIVISTA: Você pode ter razão. Mas poderia detalhar mais? De que maneira a minha teoria exacerba a situação problemática e por que isso seria óbvio até para quem falasse unicamente a minha linguagem hipotética?

DAVID: A sua teoria defende a existência de uma anomalia física que não está presente de acordo com a teoria predominante. A anomalia é a minha alegada imunidade aos efeitos da gravidade. Certamente você pode inventar uma língua que expresse essa anomalia implicitamente, de forma que as declarações da sua teoria da gravidade não precisem se referir a ela explicitamente. Mas elas se referem. Uma rosa com qualquer outro nome tem o mesmo cheiro. Suponha que você — na verdade, suponha que cada um de nós — falasse somente a sua linguagem e acreditasse que a sua teoria da gravidade fosse verdadeira. Suponha que todos nós a aceitássemos como verdadeira e pensássemos que ela era tão natural que usássemos a mesma palavra para "x-cair" para descrever o que você ou eu faria se saltássemos sobre o parapeito. Nada disso altera nem no menor grau a diferença óbvia que

haveria entre minha resposta à gravidade e a de todos os outros. Se você caísse do parapeito, poderia me invejar no caminho para baixo. Você poderia pensar “se apenas eu pudesse responder à gravidade como David em vez desta maneira totalmente diferente!”

CRIPTOINDUTIVISTA: Isso é verdade. Só porque a mesma palavra “x-cair” descreve a sua resposta à gravidade e também a minha, eu não pensaria que a resposta real seria a mesma. Ao contrário, sendo fluente nessa suposta língua, eu saberia muito bem que “x-cair” era fisicamente diferente para você e para mim, da mesma forma que quem só fala inglês sabe que as palavras “ been drunk’ têm significado fisicamente diferente quando aplicadas a uma pessoa e a um copo de água'. Eu não pensaria “se isso tivesse acontecido a David, ele estaria x-caindo da mesma forma que estou”. Eu pensaria “se isso tivesse acontecido com David, ele x-cairia e sobreviveria, enquanto eu x-cairia e morreria”.

DAVID: Além disso, apesar de você ter certeza de que eu flutuaria, você não entenderia por quê. Saber não é a mesma coisa que entender. Você ficaria curioso pela explicação dessa anomalia “bem conhecida”. E também todos os outros. Os físicos se reuniriam em todo o mundo para estudar minhas propriedades gravitacionais anômalas. Na verdade, se a sua linguagem fosse a predominante e a sua teoria fosse realmente aceita como verdadeira por todos, o mundo científico presumivelmente teria aguardado impacientemente pelo meu nascimento e estaria fazendo fila pelo privilégio de me jogar de um avião! Mas é claro que a premissa de tudo isto, ou seja, de que a sua teoria é aceita como verdadeira e incorporada na língua predominante, é absurda. Com ou sem teoria, com ou sem linguagem, na realidade nenhuma pessoa racional levaria em consideração a possibilidade de uma anomalia física tão brilhante sem haver uma explicação muito poderosa em seu favor. Portanto, da mesma forma que a sua teoria seria sumariamente rejeitada, a sua linguagem também seria, pois ela é apenas outro meio de declarar a sua teoria.

CRIPTOINDUTIVISTA: Seria possível haver uma solução do problema da indução apenas espreitando por aí? Deixe-me ver. Como essa compreensão sobre a linguagem muda as coisas? Meu argumento baseou-se em uma aparente simetria entre a sua posição e a minha. Nós dois adotamos teorias consistentes com resultados experimentais existentes e cujas rivais (exceto mutuamente) tinham sido refutadas. Você disse que eu estava sendo irracional porque minha teoria envolvia uma afirmação inexplicada, mas

contestei dizendo que em outra língua seria a sua teoria que conteria essa afirmação, portanto a simetria ainda existiria. Mas agora você afirma que linguagens são teorias e que a combinação da minha linguagem com a teoria que propus defende a existência de uma anomalia física objetiva, quando comparada com o que afirma a combinação da língua portuguesa com a teoria predominante. É aqui que a simetria entre nossas posições e o argumento que apresentei é destruída sem piedade.

DAVID: De fato são.

CRIPTOINDUTIVISTA: Deixe-me ver se consigo esclarecer isso um pouco mais. Você está dizendo que é um princípio de racionalidade que uma teoria que defende a existência de uma anomalia física objetiva é, se todas as outras coisas permanecerem iguais, menos provável de fazer previsões verdadeiras do que uma que não seja?

DAVID: Não exatamente. Teorias que postulam anomalias sem explicá-las têm menos probabilidade do que suas rivais de fazer previsões verdadeiras. Em um sentido mais geral, é um princípio de racionalidade que teorias são postuladas para solucionar problemas. Portanto, qualquer postulado que não solucione problemas deve ser rejeitado. Isso porque uma boa explicação qualificada por esse postulando torna-se má explicação.

CRIPTOINDUTIVISTA: Agora que entendo que realmente existe uma diferença objetiva entre teorias que fazem previsões inexplicadas e teorias que não fazem, devo admitir que isso parece promissor como solução do problema da indução. Parece que você descobriu uma maneira de justificar nossa futura confiança na teoria da gravidade, dada somente a situação problemática passada (incluindo evidência de observação anterior) e a distinção entre uma boa explicação e outra má. Você não tem de fazer nenhuma suposição como “o futuro tende a se assemelhar ao passado”.

DAVID: Não fui eu quem descobriu isso.

CRIPTOINDUTIVISTA: Bem, acho que também não foi Popper. Em primeiro lugar, Popper não pensava que as teorias científicas podiam ser justificadas de modo algum. Você faz uma cuidadosa distinção entre teorias serem justificadas por observações (como pensam os indutivistas) e serem justificadas por argumentos. Mas Popper não fazia essa distinção. E com respeito ao problema da indução, ele na verdade disse que, embora as previsões futuras de uma teoria não possam ser justificadas, devemos agir como se fossem!

DAVID: Não creio que ele disse exatamente isso. Se disse, ele não

estava falando sério.

CRIPTOINDUTIVISTA: Como?

DAVID: Ou, se ele falava sério, estava errado. Por que você está tão perturbado? E perfeitamente possível uma pessoa descobrir uma nova teoria (neste caso, a epistemologia popperiana), mas não obstante continuar mantendo crenças que a contradizem. Quanto mais profunda a teoria, mais provável é que aconteça isto.

CRIPTOINDUTIVISTA: Você está dizendo que entende a teoria de Popper melhor do que ele mesmo?

DAVID: Eu não sei nem me importo. A reverência que os filósofos demonstram pelas fontes históricas de ideias é muito perversa, você sabe. Em ciência não consideramos que o descobridor de uma teoria tenha alguma percepção especial sobre ela. Ao contrário, dificilmente consultamos fontes originais. Elas invariavelmente se tornam obsoletas, na medida em que as situações problemáticas que as induziram são transformadas pelas próprias descobertas. Por exemplo, a maioria dos teóricos da relatividade de hoje entendem a teoria de Einstein melhor do que ele entendia. Os fundadores da teoria quântica fizeram uma completa confusão com o entendimento de sua própria teoria. Esses começos vacilantes devem ser esperados e, quando estamos sobre os ombros de gigantes, pode não ser tão difícil ver mais longe do que eles viram. Mas, em qualquer caso, certamente é mais interessante argumentar sobre o que é a verdade do que sobre o que determinando pensador, embora excelente, pensou ou não pensou.

CRIPTOINDUTIVISTA: Está certo, eu concordo. Mas, espere um pouco, acho que fui precipitado quando disse que você não estava postulando nenhum tipo de princípio de indução. Veja: você justificou uma teoria sobre o futuro (a teoria predominante da gravidade) como sendo mais confiável do que outra teoria (a que eu propus), embora ambas sejam consistentes com todas as observações conhecidas atualmente. Visto que a teoria predominante aplica-se tanto ao futuro quanto ao passado, você justificou a proposição de que, no que diz respeito à gravidade, o futuro assemelha-se ao passado. E aconteceria o mesmo sempre que você justificasse uma teoria como confiável tomando por base que ela foi corroborada. Agora, para ir de “corroborada” a “confiável”, você examinou o poder explicativo da teoria. Portanto, o que você mostrou é que o que poderíamos chamar o “princípio da busca de melhores explicações”, juntamente com algumas observações — sim, e argumentos — implicam que o futuro será, em muitos aspectos, semelhante

ao passado. E isso é um princípio da indução! Se o seu "princípio explicativo" implica um princípio da indução, então logicamente ele é um princípio da indução. Portanto, o indutivismo é verdadeiro, afinal, e um princípio da indução realmente tem de ser postulado, explícita ou implicitamente, antes de podermos prever o futuro.

DAVID: Meu Deus! Esse indutivismo é realmente uma doença virulenta. Posto de lado por apenas alguns segundos, agora retorna com mais violência do que antes.

CRIPTOINDUTIVISTA: O racionalismo popperiano também justifica argumentos "ad hominem". Estou apenas pedindo informações.

DAVID: Peço desculpas. Deixe-me ir direto à substância do que você disse. Sim, justifiquei uma afirmação sobre o futuro. Você diz que isso implica que "o futuro assemelha-se ao passado". Bem, vagamente, sim, visto que qualquer teoria sobre o futuro afirmaria que ele se assemelha ao passado em algum sentido. Mas esta inferência de que o futuro se assemelha ao passado não é o princípio procurado da indução, pois não podemos deduzir nem justificar qualquer teoria ou previsão sobre o futuro a partir dela. Por exemplo, não poderíamos usá-la para distinguir a sua teoria da gravidade da teoria predominante, pois ambas dizem, da sua própria maneira, que o futuro se assemelha ao passado.

CRIPTOINDUTIVISTA: Não poderíamos deduzir, a partir do "princípio da explicação", uma forma do princípio da indução que poderia ser usada para selecionar teorias? Que tal: "se uma anomalia inexplicada não acontece no passado, então ela é improvável no futuro"?

DAVID: Não. Nossa justificação não depende de uma anomalia particular acontecer no passado. Ela tem a ver com haver ou não uma explicação para a existência dessa anomalia.

CRIPTOINDUTIVISTA: Está bem então, deixe-me formular isso com mais cuidado: "se, no presente, não existe teoria explicativa prevendo que determinada anomalia acontecerá no futuro, então é improvável que essa anomalia aconteça no futuro".

DAVID: Isso pode muito bem ser verdade. Por mim, acredito que é. Entretanto, não é na forma "é provável que o futuro se assemelhe ao passado". Além disso, ao tentar fazê-la parecer o máximo possível com isto, você especificou a teoria para casos "no presente", "no futuro" e para o caso de uma "anomalia". Mas ela é verdadeira da mesma forma sem essas especificações. É apenas uma declaração sobre a eficácia do argumento. Em

resumo, se não existe argumento em favor de um postulado, ele não é confiável. Passado, presente ou futuro. Com ou sem anomalia. Ponto final.

CRIPTOINDUTIVISTA: Sim, entendo.

DAVID: Nada nos conceitos de "argumento racional" ou "explicação" relaciona o futuro com o passado de nenhuma maneira especial. Nada é postulado sobre alguma coisa "semelhante" a nada. Nada desse tipo ajudaria se fosse postulado. No sentido vago em que o conceito de "explicação" implica que o futuro "assemelha-se ao passado", não obstante implica nada específico sobre o futuro, portanto não é um princípio de indução. Não existe princípio de indução. Não existe processo de indução. Ninguém nunca os utiliza nem coisa alguma parecida com eles. E não existe mais um problema de indução. Está claro agora?

CRIPTOINDUTIVISTA: Sim. Por favor, me dê licença por um momento enquanto ajusto toda a minha visão de mundo.

DAVID: Para ajudá-lo nesse exercício, acho que você deveria ponderar sobre a sua "teoria da gravidade" alternativa com mais atenção.

CRIPTOINDUTIVISTA:...

DAVID: Como já concordamos, a sua teoria consiste objetivamente em uma teoria da gravidade (a teoria predominante), qualificada por uma previsão inexplicada sobre mim. Ela diz que eu flutuaria sem sustentação. "Sem sustentação" significa "sem nenhuma força para cima agindo" sobre mim, portanto a sugestão é que eu seria imune à "força" da gravidade, que de outra forma me puxaria para baixo. Mas, de acordo com a teoria da relatividade geral, a gravidade não é uma força, mas uma manifestação da curvatura do espaço-tempo. Essa curvatura explica por que objetos sem sustentação, como eu mesmo e a Terra, se aproximam com o tempo. Portanto, à luz da física moderna, a sua teoria está presumivelmente dizendo que existe uma força para cima sobre mim, como é necessário para me manter a uma distância constante da Terra. Mas de onde vem essa força e como ela se comporta? Por exemplo, o que é "distância constante"? Se a Terra se movesse para baixo, eu responderia instantaneamente para manter a mesma altura (o que permitiria a comunicação com velocidade maior que a da luz, contrariamente a outro princípio da relatividade), ou a informação sobre onde está a Terra tem de me alcançar na velocidade da luz em primeiro lugar? Se assim for, o que essa informação acarreta? É um novo tipo de onda emitida pela Terra e, nesse caso, a que equação ela obedece? Ela transmite energia? Qual é seu comportamento quantum mecânico? Ou o que acontece é

que eu respondo de maneira especial a ondas existentes, como a luz? Neste caso, a anomalia desapareceria se uma barreira opaca fosse colocada entre mim e a Terra? De qualquer forma, a Terra não é opaca? Onde começa “a Terra”: o que define a superfície acima da qual eu supostamente “flutuo”?

CRIPTOINDUTIVISTA...

DAVID: Nesse ponto, o que define onde eu começo? Se eu me agarrar a um objeto pesado, ele também flutuará? Se assim for, a aeronave em que voei poderia desligar os motores sem causar acidente. O que significa “agarrar-se”? A aeronave cairia se eu soltasse o braço da poltrona? E se o efeito não se aplica a coisas que estou segurando, o que dizer das minhas roupas? Elas me levariam para baixo e fariam com que eu fosse morto afinal, se eu pulasse sobre o parapeito? E sobre minha última refeição?

CRIPTOINDUTIVISTA:...

DAVID: Eu poderia continuar com isso “ad infinitum”. A questão é, quanto mais consideramos as implicações da anomalia que você propôs, mais perguntas ficam sem resposta. Isto não é apenas uma questão de sua teoria ser incompleta. Essas perguntas são dilemas. Qualquer que seja a forma em que sejam respondidas, elas criam novos problemas arruinando explicações satisfatórias de outros fenômenos.

CRIPTOINDUTIVISTA-...

DAVID: Portanto, o seu postulado adicional não é apenas supérfluo, é positivamente mim. Em geral, teorias perversas mas irrefutadas que podem ser propostas sem preparação situam-se aproximadamente em duas categorias. Existem teorias que postulam entidades inobserváveis, como partículas que não interagem com nenhuma outra matéria. Elas podem ser rejeitadas por nada solucionarem (“navalha de Occam” se você quiser). E existem teorias, como a sua, que preveem anomalias inexplicadas observáveis. Elas podem ser rejeitadas por não solucionar nada e arruinar soluções existentes. Não é, apresso-me em acrescentar, que elas conflitam com observações existentes. É que elas removem o poder explicativo das teorias existentes afirmando que as previsões dessas teorias têm exceções, mas não explicam como. Você não pode apenas dizer “a geometria do espaço-tempo leva os objetos sem sustentação a se juntar, a não ser que um deles seja David, e neste caso ela os deixa em paz”. Ou a explicação da gravidade é a curvatura do espaço-tempo ou não é. Compare a sua teoria com a afirmação perfeitamente legítima de que uma pena flutuaria descendo lentamente porque realmente haveria sobre ela suficiente força do ar para

cima. Essa afirmação é uma consequência da nossa teoria explicativa existente do que é o ar, portanto não cria um novo problema, como o faz a sua teoria.

CRIPTOINDUTIVISTA: Entendo isso. Agora, você me ajudará a ajustar a minha visão de mundo?

DAVID: Bem, você leu o meu livro A Essência da Realidade?

CRIPTOINDUTIVISTA: Certamente pretendo ler, mas por enquanto a ajuda que eu estava pedindo se refere a uma dificuldade muito específica.

DAVID: Prossiga.

CRIPTOINDUTIVISTA: A dificuldade é esta: quando repito a discussão que estamos tendo, fico inteiramente convencido de que a sua previsão do que aconteceria se você ou eu saltasse desta torre não foi deduzida de nenhuma hipótese indutiva, como "o futuro assemelha-se ao passado". Mas quando eu volto e considero a lógica geral da situação, temo que ainda não possa entender como isso é possível. Considere a matéria-prima do argumento. Inicialmente assumi que as observações anteriores e a lógica dedutiva são nossa única matéria-prima. Então admiti que a situação problemática atual também é relevante, porque precisamos justificar nossa teoria somente como sendo mais confiável do que as rivais existentes. Depois tive de levar em conta que imensas classes de teorias podem ser descartadas somente por argumentação, porque são más explicações, e que os princípios da racionalidade podem ser incluídos na nossa matéria-prima. O que não consigo entender é de onde nessa matéria-prima — observações passadas, a situação problemática presente e os princípios eternos da lógica e racionalidade, nenhum dos quais justifica inferências do passado para o futuro — veio a justificação de previsões futuras. Parece haver uma lacuna lógica. Estamos fazendo uma suposição oculta em algum lugar?

DAVID: Não, não existe lacuna lógica. O que você chama de "matéria-prima" na verdade inclui afirmações sobre o futuro. As melhores teorias existentes, que não podem ser abandonadas rapidamente porque são as soluções dos problemas, contêm previsões sobre o futuro. E essas previsões não podem ser separadas do outro conteúdo da teoria, como você tentou fazer, porque isso arruinaria o poder explicativo das teorias. Qualquer nova teoria proposta deve, portanto, ou ser consistente com essas teorias existentes, o que tem implicações para o que a nova teoria pode dizer sobre o futuro, ou contradizer algumas teorias existentes, mas tratar dos problemas criados por meio disso, fornecendo explicações alternativas, que mais uma vez

restringem o que elas podem dizer sobre o futuro.

CRIPTOINDUTIVISTA: Portanto, não temos princípio de raciocínio que diga que o futuro será semelhante ao passado, mas temos teorias reais que dizem isso. Então temos teorias reais que implicam uma forma limitada de princípio indutivo?

DAVID: Não. Nossas teorias simplesmente afirmam alguma coisa sobre o futuro. De modo vago, qualquer teoria sobre o futuro implica que o futuro será "semelhante ao passado" de alguma forma. Mas só podemos descobrir em quais aspectos a teoria diz que o futuro será semelhante ao passado depois de ter a teoria. Da mesma forma, você poderia dizer que, como que nossas teorias sustentam que certas características da realidade são as mesmas por todo o espaço, implicam um "princípio espacial da indução" com o efeito de "o próximo assemelha-se ao distante". Deixe-me ressaltar que, em qualquer sentido prático da palavra "semelhante", nossas teorias atuais dizem que o futuro não será semelhante ao passado. O "Big Crunch" cosmológico, por exemplo (o recolapso do universo até um único ponto), é um evento que alguns cosmólogos predizem, mas que é quase tão diferente da época atual, em todos os sentidos físicos, quanto seria possível ser. As próprias leis com as quais prevemos sua ocorrência não se aplicarão a ele.

CRIPTOINDUTIVISTA: Estou convencido disso. Deixe-me tentar um último argumento. Vimos que as previsões futuras podem ser justificadas por um apelo aos princípios da racionalidade. Mas o que justifica estes princípios? Afinal, eles não são verdades de lógica pura. Portanto, há duas possibilidades: eles são injustificados, e neste caso as conclusões deles extraídas também o são, ou eles são justificados por algum meio ainda desconhecido. Em qualquer dos casos, falta uma justificação. Eu não suspeito mais de que este é o problema da indução disfarçado. Não obstante, tendo estourado o problema da indução, não revelamos outro problema fundamental subjacente, também concernente à justificação que falta?

DAVID: O que justifica os princípios da racionalidade? Argumento, como de costume. O que, por exemplo, justifica nossa confiança nas leis da dedução, apesar do fato de que qualquer tentativa de justificá-las logicamente deve levar ou a uma "circularidade" ou a um regresso infinito? Elas são justificadas porque nenhuma explicação é melhorada substituindo-se uma lei da dedução.

CRIPTOINDUTIVISTA: Isso não parece um alicerce muito confiável para a lógica pura.

DAVID: Não é perfeitamente confiável. Nem esperamos que seja, pois o raciocínio lógico não é menos processo físico do que o raciocínio científico e é inerentemente falível. As leis da lógica não são evidentes por si mesmas. Existem pessoas, os “intuicionistas” matemáticos, que discordam das leis convencionais da dedução (as “regras de inferência” lógicas). Eu discuto sua estranha visão de mundo no Capítulo 10 de A Essência da Realidade. Não se pode provar que eles estão errados, mas devo argumentar que eles estão errados e tenho certeza de que você concordará que meu argumento justifica esta conclusão.

CRIPTOINDUTIVISTA: Então você não acha que exista um “problema da dedução”?

DAVID: Não. Não acho que exista um problema com nenhuma das maneiras usuais de justificar conclusões em ciência, filosofia ou matemática. Entretanto, é um fato interessante o universo físico admitir processos que criam conhecimento sobre ele mesmo e sobre outras coisas também. Podemos razoavelmente tentar explicar esse fato da mesma maneira que explicamos outros fatos físicos, isto é, por meio de teorias explicativas. Você verá no Capítulo 6 de A Essência da Realidade que penso que o princípio de Turing é a teoria apropriada neste caso. Ele diz que é possível construir um gerador de realidade virtual cujo repertório inclua todos os ambientes fisicamente possíveis. Se o princípio de Turing é uma lei da física, como argumentei que é, então não devemos ficar surpresos ao descobrir que podemos formar teorias precisas sobre a realidade, porque isso é apenas a realidade virtual em ação.

Da mesma forma que a possibilidade de existirem máquinas a vapor é uma manifestação direta dos princípios da termodinâmica, também o fato de o cérebro humano ser capaz de criar conhecimento é uma manifestação direta do princípio de Turing.

CRIPTOINDUTIVISTA: Mas como sabemos que o princípio de Turing é verdadeiro!

DAVID: Não sabemos, é claro... Mas você está temeroso, não está, de que, se não pudermos justificar o princípio de Turing, então mais uma vez teremos perdido nossa justificação por confiar nas previsões científicas?

CRIPTOINDUTIVISTA: Ah, sim.

DAVID: Mas agora passamos para uma questão completamente diferente! Estamos discutindo um aparente fato da realidade física, ou seja, que ela pode fazer previsões confiáveis sobre si mesma. Estamos tentando

explicar esse fato, para colocá-lo no mesmo quadro de outros fatos que conhecemos. Sugeri que pode haver certa lei da física envolvida. Mas se eu estivesse errado sobre isso, na verdade mesmo se fôssemos inteiramente incapazes de explicar essa propriedade notável da realidade, isso não diminuiria nem um pouco a justificação de qualquer teoria científica. Pois não tornaria as explicações dessa teoria nem um pouquinho piores.

CRIPTOINDUTIVISTA: Agora meus argumentos se exauriram. Intelectualmente, estou convencido. No entanto, devo confessar que ainda sinto algo que só posso descrever como uma “dúvida emocional”.

DAVID: Talvez ajude se eu fizer um último comentário, não sobre algum dos argumentos específicos que você apresentou, mas sobre uma concepção errônea que parece estar subjacente a muitos deles. Você sabe que é um conceito errado; no entanto, ainda não incorporou suas ramificações na sua visão de mundo. Talvez isso seja a fonte da sua “dúvida emocional”.

CRIPTOINDUTIVISTA: Vá em frente.

DAVID: O conceito errôneo é sobre a própria natureza do argumento e da explicação. Parece que você está supondo que argumentos e explicações, como os que justificam agir conforme determinada teoria, têm a forma de provas matemáticas, indo de suposições para conclusões. Você procura a “matéria-prima” (axiomas) dos quais nossas conclusões (teoremas) são derivadas. Existe realmente uma estrutura lógica desse tipo associada a cada argumento ou explicação bem-sucedidos. Mas o processo do argumento não começa com os “axiomas” e termina com a “conclusão”. Em vez disso, começa no meio, com uma versão permeada de inconsistências, lacunas, ambiguidades e irrelevâncias. Todas essas falhas são criticadas. São feitas tentativas de substituir teorias falhas. As teorias que são criticadas e substituídas normalmente incluem alguns dos “axiomas”. É por isso que é um erro supor que um argumento começa, ou é justificado, pelas teorias que eventualmente servem como seus “axiomas”. O argumento termina — tentativamente — quando parece ter mostrado que a explicação associada é satisfatória. Os “axiomas” adotados não são crenças definitivas e incontestáveis. São teorias explicativas tentativas.

CRIPTOINDUTIVISTA: Entendo. Argumento não pertence à mesma espécie de coisas que a dedução, ou que a não existente indução. Ele não é baseado em qualquer coisa ou justificado por coisa alguma. E não tem de ser, porque seu propósito é solucionar problemas — mostrar que dado problema é solucionado por dada explicação.

DAVID: Bem-vindo ao clube.

EX-INDUTIVISTA: Todos esses anos me senti tão seguro no meu grande Problema. Senti-me tão superior tanto aos antigos indutivistas quanto ao recém-surgido Popper. E o tempo todo, sem mesmo saber, eu mesmo era um criptoindutivista! O indutivismo é realmente uma doença. Ele nos cega.

DAVID: Não seja tão duro com você mesmo. Agora você está curado. Se apenas seus companheiros sofredores fossem tão acessíveis à cura por meros argumentos!

EX-INDUTIVISTA: Mas como pude ser tão cego? Pensar que certa vez indiquei Popper para o Prêmio Derrida de Pronunciamentos Ridículos, enquanto o tempo todo ele havia solucionado o problema da indução! O mea culpa! Deus nos salve, pois queimamos um santo! Estou envergonhado. Não vejo outra saída senão me atirar deste parapeito.

DAVID: Certamente isso não é necessário. Nós, popperianos, acreditamos em deixar nossas teorias morrer no nosso lugar. Jogue apenas o indutivismo para fora.

EX-INDUTIVISTA: Vou fazer isso, vou mesmo!

Terminologia Empregada no Capítulo

Criptoindutivista — Alguém que acredita que a invalidade do raciocínio indutivo suscita um grave problema filosófico, ou seja, o problema de como justificar alguma coisa confiando nas teorias científicas.

A seguir, o quarto elemento, a teoria da evolução, que responde à pergunta “o que é a vida ”?

8 O Significado da Vida

Desde os tempos antigos até por volta do século XIX, tomava-se por certo que era necessária alguma força ou fator vital especial para fazer com que a matéria dos organismos vivos se comportasse de maneira notadamente diferente de outras matérias. Isso significava, de fato, que haveria dois tipos de matéria no universo: matéria animada e matéria inanimada, com propriedades físicas fundamentalmente diferentes. Considere um organismo vivo, por exemplo, um urso. Sua fotografia assemelha-se ao urso vivo em alguns aspectos. Também alguns outros objetos, como um urso morto ou até, de um modo muito limitado, a constelação Ursa Maior. Mas somente a matéria animada pode correr atrás de você na floresta com você serpenteando entre as árvores, para pegá-lo e fazê-lo em pedaços. Coisas inanimadas nunca fazem nada tão intencional — ou assim pensavam os antigos. É claro que eles nunca viram um míssil teleguiado.

Para Aristóteles e outros filósofos antigos, a característica mais evidente da matéria animada era a sua capacidade de iniciar movimentos. Eles pensavam que, quando matéria inanimada, como uma pedra, entrasse em repouso, nunca mais se moveria a não ser que alguma coisa a chutasse. Mas matéria animada, como um urso em hibernação, poderia estar em repouso e começar a se movimentar sem ser chutada. Com o benefício da ciência moderna, podemos facilmente encontrar falhas nessas generalizações e a própria ideia de “iniciar movimentos” agora parece mal concebida: sabemos que o urso acorda por causa de processos eletroquímicos do seu corpo. Esses processos podem ser iniciados por “chutes” externos, como o aumento de temperatura, ou por um relógio biológico interno que usa reações químicas lentas para marcar o tempo. Reações químicas nada mais são do que movimento de átomos, portanto o urso nunca está inteiramente em repouso. Por outro lado, um núcleo de urânio, que certamente não está vivo, pode permanecer inalterável por bilhões de anos e então, sem nenhum estímulo, desintegrar-se súbita e violentamente. Assim, o conteúdo nominal do conceito de Aristóteles é inútil atualmente. Mas ele acertou em uma coisa importante, no que os pensadores mais modernos erraram. Ao tentar associar a vida com um conceito físico básico (embora com o conceito errado, movimento), ele reconheceu que a vida é um fenômeno fundamental da natureza.

Um fenômeno é “fundamental” se um entendimento suficientemente profundo do mundo depende do entendimento desse fenômeno. Opiniões diferem, é claro, sobre quais aspectos do mundo vale a pena entender e, Consequentemente, sobre o que é profundo ou fundamental. Alguns diriam que o amor é o fenômeno mais fundamental do mundo. Outros acreditam que, quando se decoram certos textos sagrados, entende-se tudo o que vale a pena entender. O entendimento do qual estou falando é expresso em leis da física e princípios de lógica e filosofia. Um entendimento mais “profundo” é o que tem mais generalidade, incorpora mais conexões entre verdades superficialmente diferentes, explica mais com menos suposições inexplicadas. Os fenômenos mais fundamentais estão envolvidos na explicação de muitos outros fenômenos, mas eles mesmos são explicados unicamente por leis e princípios básicos.

Nem todos os fenômenos fundamentais têm grandes efeitos físicos. A gravitação tem e realmente é um fenômeno fundamental. Mas os efeitos diretos da interferência quântica, como os padrões de sombra descritos no Capítulo 2, não são grandes. É muito difícil até mesmo detectá-los sem ambiguidade. Não obstante, vimos que a interferência quântica é um fenômeno fundamental. Somente ao entendê-la podemos compreender o fato básico sobre a realidade física, ou seja, a existência de universos paralelos.

Era óbvio para Aristóteles que a vida é teoricamente fundamental e tem grandes efeitos físicos. Como veremos, ele estava certo. Mas isso era óbvio para ele pelos motivos errados, ou seja, as propriedades mecânicas supostamente distintivas da matéria animada e a dominação da superfície da Terra por processos vivos. Aristóteles pensava que o universo consistia principalmente no que agora chamamos de biosfera (região que contém vida) da Terra, com alguma coisa extra — esferas celestiais e o interior da Terra — incluída acima e abaixo. Se a biosfera da Terra é o componente principal do seu cosmo, naturalmente você pensará que as árvores e os animais são, pelo menos, tão importantes quanto rochas e estrelas no grande esquema das coisas, principalmente se você souber muito pouco sobre física e biologia. A ciência moderna levou a uma conclusão quase oposta. A revolução copernicana tornou a Terra subsidiária de um Sol central e inanimado. Descobertas subsequentes em física e astronomia mostraram não só que o universo é vasto em comparação com a Terra, mas é descrito com enorme exatidão por todas as leis que abrangem tudo e não fazem nenhuma menção à vida. A teoria da evolução de Charles Darwin explicou a origem da vida em

termos que não requeriam física especial e, desde então, descobrimos muitos detalhes dos mecanismos da vida e neles também não encontramos nenhuma física especial.

Esses sucessos espetaculares da ciência e a grande generalidade da física newtoniana, e da física subsequente em particular, fizeram muito para tornar atraente o reducionismo. Desde que a fé na verdade revelada havia sido considerada incompatível com a racionalidade (que requer uma exposição à crítica), muitas pessoas, não obstante, ansiaram por um alicerce definitivo para coisas nas quais podiam acreditar. Se elas ainda não tinham uma "teoria de tudo" redutiva para acreditar, pelo menos aspiravam por uma. Foi tomado como certo que uma hierarquia reducionista das ciências, baseada na física subatômica, era parte integral da visão de mundo científica e, portanto, foi criticada somente por pseudocientistas e outros que se rebelaram contra a própria ciência. Assim, na ocasião em que aprendi biologia na escola, o "status" daquele assunto havia mudado para o contrário do que Aristóteles acreditava ser óbvio. A vida não era considerada fundamental, de forma alguma. O próprio termo "estudo da natureza" (significando biologia) se tornara um anacronismo. Fundamentalmente, a natureza era física. Estou super simplificando apenas um pouco quando caracterizo a visão predominante como vem a seguir. A física tinha uma ramificação, a química, que estudava as interações dos átomos. A química tinha uma ramificação, a química orgânica, que estudava as propriedades dos compostos do elemento carbono. A química orgânica, por sua vez, tinha uma ramificação, a biologia, que estudava os processos químicos que chamamos de vida. Só porque somos esse processo, é que essa ramificação remota de um assunto fundamental era interessante para nós. A física, ao contrário, era considerada evidentemente importante por seus próprios direitos, porque o universo inteiro, incluindo a vida, conforma-se com seus princípios.

Meus colegas de classe e eu tínhamos de saber de cor certa quantidade de "características das coisas vivas". Elas eram meramente descritivas. Faziam pouca referência a conceitos fundamentais. Admitia-se que (loco) moção era uma delas — um eco mal definido da ideia de Aristóteles — mas respiração e excreção também estavam entre elas. Havia também reprodução, crescimento e a memoravelmente denominada irritabilidade, que significava que, se você chutar alguma coisa, ela reagirá de volta. O que faltava em elegância e profundidade a essas supostas características de vida, elas não compensavam em exatidão. Como o Dr. Johnson nos diria, todo objeto real é

“irritável”. Por outro lado, os vírus não respiram, não crescem, não excretam, nem se movem (a menos que sejam chutados), mas estão vivos. E seres humanos estéreis não se reproduzem, no entanto também estão vivos.

O motivo pela qual a visão de Aristóteles e também a dos livros de texto da minha escola falhavam ao capturar até mesmo uma boa distinção taxionômica entre coisas viventes e não viventes, para não falar de alguma coisa mais profunda, é que ambas não entenderam o significado do que são coisas vivas (um erro mais perdoável em Aristóteles, porque em sua época ninguém tinha conhecimento melhor). A biologia moderna não tenta definir vida por algum atributo ou substância física característica — alguma “essência” da vida — de que só a matéria animada é dotada. Não esperamos mais que exista tal essência, porque agora sabemos que “matéria animada”, matéria na forma de organismos vivos, não é a base da vida. É meramente um dos efeitos da vida; a base da vida é molecular. É o fato de existirem moléculas que fazem com que certos ambientes produzam cópias dessas mesmas moléculas.

Essas moléculas são chamadas de replicadores. De modo mais geral, um replicador é qualquer entidade que faz com que certos ambientes o copiem. Nem todos os replicadores são biológicos e nem todos são moléculas. Por exemplo, um programa de computador que copia a si mesmo (como um vírus de computador) é um replicador. Uma boa piada é outro replicador, porque faz com que o ouvinte a conte para outros. Richard Dawkins cunhou o termo meme para replicadores que são ideias humanas, como piadas. Mas toda a vida na Terra se baseia em replicadores que são moléculas. Eles são chamados de genes, e a biologia é o estudo da origem, estrutura e operação dos genes, e dos seus efeitos sobre outra matéria. Na maioria dos organismos, um gene consiste em uma sequência de moléculas menores, das quais existem quatro tipos diferentes, unidos em uma cadeia. Os nomes das moléculas componentes (adenina, citosina, guanina e tiamina) usualmente são abreviados para A, C, G e T. O nome químico abreviado de uma cadeia de qualquer quantidade de moléculas A, C, G e T, em qualquer ordem, é DNA.

Os genes são de fato programas de computador, expressos como sequências dos símbolos A, C, G e T em uma linguagem padrão denominada código genético que, com variações muito pequenas, é comum a toda a vida na Terra. (Alguns vírus são baseados em um tipo relacionado de molécula, o RNA, ao passo que príons são, em certo sentido, moléculas de proteína auto

replicantes.) Estruturas especiais dentro das células de cada organismo agem como computadores para executar esses programas genéticos. A execução consiste em produzir certas moléculas (proteínas) a partir de moléculas mais simples (aminoácidos) sob certas condições externas. Por exemplo, a sequência “ATG” é uma instrução para incorporar o aminoácido metionina à molécula de proteína que está sendo produzida.

Tipicamente, um gene é quimicamente “ligado” em certas células do corpo e então instrui essas células para produzir a proteína correspondente. Por exemplo, o hormônio insulina, que controla o nível de açúcar do sangue dos vertebrados, é uma dessas proteínas. O gene para produzi-lo está presente em quase todas as células do corpo, mas é ativado somente em certas células especializadas do pâncreas e somente quando necessário. Em nível molecular, isso é tudo para o que algum gene pode programar seu computador celular: produzir certo produto químico. Mas os genes têm sucesso em ser replicadores porque esses programas químicos de baixo nível adicionam-se, camada sobre camada de controle e realimentação complexos, até sofisticadas instruções de alto nível. Em conjunto, o gene da insulina e os genes incumbidos de ligá-lo e desligá-lo resultam em um programa completo para a regulação do açúcar na corrente sanguínea.

De modo semelhante, há genes que contêm instruções específicas sobre como e quando eles e outros genes devem ser copiados e instruções para a produção de outros organismos da mesma espécie, incluindo os computadores moleculares que executarão todas essas instruções mais uma vez na próxima geração. Há também instruções sobre como o organismo, como um todo, deve responder a estímulos, por exemplo, quando e como deve caçar, comer, acasalar-se, lutar ou fugir. E assim por diante.

Um gene só pode funcionar como replicador em certos ambientes. Por analogia com um “nicho” ecológico (o conjunto de ambientes no qual um organismo pode sobreviver e se reproduzir), usarei também o termo nicho para o conjunto de todos os ambientes possíveis em que dado replicador causaria a produção de cópias de si mesmo. O nicho de um gene da insulina inclui ambientes onde o gene está localizado no núcleo de uma célula em companhia de determinados outros genes e a própria célula está apropriadamente localizada dentro de um organismo em funcionamento, em um hábitat adequado para a sustentação da vida e reprodução do organismo. Mas existem também outros ambientes — como laboratórios de biotecnologia, onde bactérias são geneticamente alteradas de forma a

incorporar o gene — que copiam o gene da insulina da mesma forma. Esses ambientes também são parte do nicho do gene, como são uma infinidade de outros ambientes possíveis, muito diferentes daqueles em que o gene evoluiu.

Nem tudo o que pode ser copiado é um replicador. O replicador é a causa para o seu ambiente copiá-lo, isto é, contribui causalmente para sua própria cópia. (Minha terminologia difere levemente da usada por Dawkins. Qualquer coisa que é copiada, por qualquer motivo, ele chama de replicador. O que chamo de replicador, ele chamaria de replicador ativo.) O que significa em geral contribuir de modo causal para alguma coisa é uma questão à qual voltarei, mas o que quero dizer aqui é que a presença e a forma física específica do replicador fazem diferença quanto ao fato de a cópia ocorrer ou não. Em outras palavras, o replicador será copiado se estiver presente, mas se for substituído por quase qualquer outro objeto, mesmo um bastante semelhante, esse objeto não seria copiado. Por exemplo, o gene da insulina ocasiona apenas uma pequena etapa do processo enormemente complicado de sua própria replicação (com esse processo sendo o ciclo de vida inteiro do organismo). Mas a esmagadora maioria de variações desse gene não instruiria as células a produzir um produto químico que pudesse fazer o trabalho da insulina. Se os genes da insulina nas células de um organismo individual fossem substituídos por moléculas ligeiramente diferentes, esse organismo morreria (a não ser que fosse mantido vivo por outros meios) e, portanto, falharia em ter prole, e essas moléculas não seriam copiadas. Portanto, a ocorrência ou não da cópia é extraordinariamente sensível à forma física do gene da insulina. A presença do gene em sua forma e localização apropriadas faz diferença para a produção da cópia, o que o torna um replicador, embora haja incontáveis outras causas que também contribuem para a sua replicação.

Juntamente com os genes, sequências aleatórias de A, C, G e T, às vezes chamadas de sequências de DNA redundantes, estão presentes no DNA da maioria dos organismos. Elas também são copiadas e passadas adiante para os descendentes do organismo. Entretanto, se uma sequência dessas for substituída por quase qualquer outra sequência de comprimento semelhante, ainda será copiada. Portanto, podemos inferir que a cópia dessas sequências não depende de sua forma específica. Diferentemente dos genes, as sequências de DNA redundantes não são programas. Se elas têm uma função (e não se sabe se têm), não pode ser a de conduzir informações de nenhum tipo. Embora elas sejam copiadas, não contribuem de modo causal para a sua própria cópia e, portanto, não são replicadoras.

Na verdade, isso é um exagero. Qualquer coisa que seja copiada deve ter feito pelo menos uma contribuição causal para essa cópia. Sequências de DNA redundantes, por exemplo, são feitas de DNA, o que permite que o computador celular as copie. Ele não pode copiar moléculas que não sejam de DNA. Normalmente não é esclarecedor considerar alguma coisa como replicadora se sua contribuição causal à sua própria replicação é pequena, embora, falando estritamente, ser replicador é uma questão de grau. Definirei o grau de adaptação de um replicador a um dado ambiente como o grau em que o replicador contribui de modo causal para sua própria replicação nesse ambiente. Se um replicador é bem adaptado à maioria dos ambientes de um nicho, podemos dizer que ele está bem adaptado ao nicho. Já vimos que o gene da insulina é altamente adaptado a seu nicho. As sequências de DNA redundantes têm um grau desprezível de adaptação quando comparadas ao gene da insulina ou a qualquer outro gene legítimo, mas são muito mais adaptadas a esse nicho do que a maioria das moléculas.

Note que, para quantificar graus de adaptação, precisamos não apenas considerar o replicador em questão, mas também uma série de variações dele. Quanto mais sensível for a cópia em dado ambiente à estrutura física exata do replicador, mais adaptado será o replicador a esse ambiente. Para replicadores altamente adaptados (que são os únicos que merecem ser chamados de replicadores), precisamos considerar apenas variações muito pequenas, porque sob a maior parte das grandes variações eles não seriam mais replicadores. Portanto, estamos pensando em substituir o replicador por objetos muito similares. Para quantificar o grau de adaptação a um nicho, devemos considerar o grau de adaptação do replicador a cada ambiente do nicho. Devemos, portanto, considerar tanto variações do ambiente como do replicador. Se a maioria das variações do replicador falhar em gerar suas cópias pela maioria dos ambientes do nicho, conclui-se que a forma do nosso replicador é uma causa significante para a sua própria cópia nesse nicho, que é o que queremos dizer quando afirmamos que ele está altamente adaptado ao nicho. Por outro lado, se a maioria das variações do replicador são copiadas na maioria dos ambientes do nicho, a forma do nosso replicador faz pouca diferença, pois a cópia ocorreria de qualquer jeito. Nesse caso, o nosso replicador contribui muito pouco de modo causal para sua cópia e não é altamente adaptado ao nicho.

Portanto, o grau de adaptação de um replicador depende não somente do que ele faz em seu ambiente real, mas também do que grande número de

outros objetos, a maioria dos quais não existe, faria em grande número de ambientes além do real. Já encontramos antes esse curioso tipo de propriedade. A exatidão de uma reprodução de realidade virtual depende não somente das respostas que a máquina realmente fornece ao que o usuário realmente faz, mas também de respostas que, no evento, ela não fornece a coisas que o usuário não faz de fato. Essa semelhança entre processos vivos e realidade virtual não é uma coincidência, como explicarei em breve.

O fator mais importante que determina o nicho de um gene normalmente é que a replicação do gene depende da presença de outros genes. Por exemplo, a replicação do gene da insulina de um urso não depende somente da presença, no corpo do urso, de todos seus outros genes, mas também da presença, no ambiente externo, de genes de outros organismos. Ursos não podem sobreviver sem alimento e os genes para produzir esse alimento existem somente em outros organismos.

Tipos diferentes de genes que necessitam da cooperação de outros para se replicar muitas vezes vivem unidos em longas cadeias de DNA, o DNA de um organismo. Um organismo é o tipo de coisa — como um animal, planta ou micróbio — que, em termos corriqueiros, normalmente achamos que está vivo. Mas do que eu disse, resulta que “vivo” é, na melhor das hipóteses, um título de cortesia quando aplicado a partes de um organismo, exceto ao seu DNA. Um organismo não é um replicador. ele é parte do ambiente dos replicadores, normalmente a parte mais importante depois de outros genes. O restante do ambiente é o tipo de hábitat que pode ser ocupado pelo organismo (como o topo das montanhas ou o fundo dos oceanos) e o estilo de vida particular desse hábitat (como caçador ou animal que se alimenta por filtragem) que permite ao organismo sobreviver durante tempo suficiente para que seus genes sejam replicados.

No linguajar comum, falamos de organismos “reproduzindo a si mesmos”; na verdade esta foi uma das supostas “características das coisas vivas”. Em outras palavras, pensamos em organismos como replicadores, mas isso não é correto. Organismos não são copiados durante a reprodução; muito menos causam a cópia de si mesmos. Eles são construídos novamente de acordo com plantas esquemáticas incorporadas ao DNA dos organismos progenitores. Por exemplo, se a forma do nariz de um urso for alterada em um acidente, isso pode mudar o estilo de vida desse determinado urso, e suas chances de sobreviver para “reproduzir a si mesmo” podem ser afetadas para melhor ou pior. Mas o urso com a nova forma de nariz não tem possibilidade

de ser copiado. Se ele tiver prole, eles terão narizes com a forma original. Mas faça uma alteração no gene correspondente (se fizer isso logo após o urso ser concebido, terá de mudar apenas uma molécula) e qualquer descendente não somente terá o nariz com a nova forma, mas também cópias do novo gene. Isso mostra que a forma de cada nariz é causada por aquele gene, e não pela forma de algum nariz anterior. Portanto, a forma do nariz do urso não faz nenhuma contribuição causal para a forma do nariz da prole. Mas a forma dos genes do urso contribui tanto para sua própria cópia quanto para a forma do nariz do urso e de seus descendentes.

Portanto, um organismo é o ambiente imediato que copia os verdadeiros replicadores: os genes do organismo. Tradicionalmente, o nariz de um urso e sua toca seriam classificados como entidade vivente e não vivente, respectivamente. Mas essa distinção não está enraizada em nenhuma diferença significativa. O papel do nariz do urso não é fundamentalmente diferente do da sua toca. Nem o de um replicador, embora novos exemplares deles estejam continuamente sendo feitos. Tanto o nariz quanto a toca são meramente partes do ambiente que os genes do urso manipulam no processo de fazer com que eles mesmos sejam replicados.

Esse entendimento da vida baseado em genes — considerando organismos como parte do ambiente dos genes — tem sido implicitamente a base da biologia desde Darwin, mas foi negligenciado até pelo menos a década de 1960 e não completamente entendido até Richard Dawkins publicar The Selfish Gene (O Gene Egoísta), em 1976, e The Extended Phenotype (O Fenótipo Estendido), em 1982.

Volto agora à questão de a vida ser um fenômeno fundamental da natureza. Eu alertei contra a suposição reducionista de que fenômenos emergentes, como a vida, são necessariamente menos fundamentais do que os fenômenos físicos microscópicos. Não obstante, tudo o que acabei de dizer sobre o que é a vida parece apontar para ela como mero efeito colateral na extremidade de uma longa cadeia de efeitos colaterais. Pois não são meramente as previsões da biologia que se reduzem, em princípio, às da física: são também as explicações. Como eu disse, as grandes teorias explicativas de Darwin (em versões modernas, como as propostas por Dawkins) e da moderna bioquímica são redutivas. Moléculas vivas (genes) são meramente moléculas, obedecendo às mesmas leis da física e da química que as não viventes obedecem. Elas não contêm nenhuma substância especial e nenhum atributo físico especial. Elas apenas, em certos ambientes, são

replicadoras. A propriedade de ser um replicador é altamente contextual, isto é, depende de detalhes intrincados do ambiente do replicador: uma entidade é um replicador em um ambiente e não é em outro. Além disso, a propriedade de estar adaptado a um nicho não depende de nenhum atributo físico simples e intrínseco que o replicador possui na ocasião, mas de efeitos que pode causar no futuro — e sob circunstâncias hipotéticas (isto é, em variações do ambiente). Propriedades contextuais e hipotéticas são essencialmente derivadas, portanto é difícil ver como um fenômeno caracterizado somente por tais propriedades poderia ser um fenômeno fundamental da natureza.

Quanto ao impacto físico da vida, a conclusão é a mesma: os efeitos da vida parecem desprezivelmente pequenos. Por tudo o que sabemos, o planeta Terra é o único lugar do universo onde existe vida. Certamente não vimos evidência da sua existência em nenhum outro lugar, portanto, mesmo que ela seja muito difundida, seus efeitos são pequenos demais para ser percebidos por nós. O que vemos além da Terra é um universo ativo, fervendo de processos diversos e poderosos, mas totalmente inanimados. Galáxias giram. Estrelas se condensam, brilham, chamejam, explodem e entram em colapso. Partículas de alta energia e ondas eletromagnéticas e gravitacionais fluem em todas as direções. Parece não fazer diferença se a vida está ou não lá fora entre todos esses processos titânicos. Parece que nenhum deles seria afetando nem de maneira mais superficial se a vida estivesse presente. Se a terra fosse envolvida por uma grande explosão solar, por si mesmo um evento astrofísico insignificante, a nossa biosfera seria instantaneamente esterilizada e essa catástrofe teria tão pouco efeito sobre o Sol quanto uma gota de chuva tem sobre um vulcão em erupção. Em termos de massa, energia ou qualquer medida astrofísica de significado, a nossa biosfera é uma fração desprezível até mesmo da Terra, no entanto é um truísmo da astronomia que o sistema solar consista essencialmente no Sol e em Júpiter. Tudo mais (incluindo a Terra) são “apenas impurezas”. Além disso, o sistema solar é um componente desprezível da nossa galáxia, a Via Láctea, que, por sua vez, é pouco notável entre as muitas galáxias do universo conhecido. Portanto, parece que, como disse Stephen Hawking: “A raça humana é apenas uma escória química em um planeta de tamanho moderado orbitando ao redor de uma estrela média no subúrbio de uma entre cem bilhões de galáxias”.

Deste modo, a visão predominante atualmente é que a vida, longe de ser central, seja em termos geométricos, teóricos ou práticos, é de uma insignificância quase inconcebível. A biologia, neste quadro, é um assunto

com o mesmo “status” da geografia. Conhecer o desenho da cidade de Oxford é importante para quem vive lá, mas não tem importância para os que nunca a visitam. De modo semelhante, parece que a vida é propriedade de alguma área provinciana, ou talvez áreas, do universo, fundamental para nós porque estamos vivos, mas nem um pouco fundamental, seja teórica seja praticamente, no grande esquema das coisas.

Mas, extraordinariamente, essa aparência é enganosa. Simplesmente não é verdade que a vida é insignificante em seus efeitos físicos, nem é teoricamente derivada.

Como primeiro passo para explicar isso, deixe-me esclarecer minha observação anterior, de que a vida é uma forma de geração de realidade virtual. Eu usei a palavra “computadores” para os mecanismos que executam programas de genes dentro das células vivas, mas essa terminologia é um tanto vaga. Quando comparados com os computadores de uso geral que fabricamos artificialmente, eles fazem mais em alguns aspectos e menos em outros. Não se poderia programá-los facilmente para processar textos ou fatorar grandes números. Por outro lado, eles exercem controle extremamente preciso e interativo sobre as respostas de um ambiente complexo (o organismo) a tudo o que pode acontecer a ele. E esse controle é direcionado para fazer com que o ambiente aja de volta sobre os genes de maneira específica (isto é, para replicá-los) de tal forma que o efeito líquido sobre os genes é tão independente quanto possível do que pode estar acontecendo fora. Isso é mais do que apenas computação. É reprodução de realidade virtual.

A analogia com a tecnologia humana de realidade virtual não é perfeita. Primeiro, embora os genes estejam encerrados, da mesma forma que um usuário de realidade virtual, em um ambiente cuja constituição e comportamento são especificados em detalhes por um programa (que os próprios genes incorporam), os genes não sentem esse ambiente porque não têm sentidos nem experiências. Portanto, se um organismo é uma reprodução de realidade virtual especificada por seus genes, é uma reprodução sem audiência. Segundo, o organismo não está apenas sendo reproduzido, está sendo fabricado. Não é uma questão de “iludir” o gene para acreditar que existe um organismo lá fora. O organismo está realmente lá fora.

Entretanto, essas diferenças não são importantes. Como eu disse, todas as reproduções de realidade virtual reproduzem fisicamente o ambiente reproduzido. O interior de qualquer gerador de realidade virtual no ato de reproduzir é precisamente um ambiente real e físico, fabricado para ter as

propriedades especificadas no programa. E apenas porque nós, usuários, às vezes escolhemos interpretá-lo como um ambiente diferente, que acontece de serem geradas as mesmas sensações. Quanto à ausência de um usuário, vamos considerar explicitamente qual é o papel de um usuário de realidade virtual. Primeiro, é chutar o ambiente reproduzido e ser chutado de volta — em outras palavras, interagir com o ambiente de maneira autônoma. No caso biológico, esse papel é representado pelo hábitat externo. Segundo, é fornecer a intenção por trás da reprodução. Isso equivale a dizer que faz pouco sentido falar de uma situação particular como sendo uma reprodução de realidade virtual se não houver conceito de a reprodução ser exata ou inexata. Eu disse que a exatidão de uma reprodução é a fidelidade, como percebida pelo usuário, do ambiente reproduzido ao ambiente pretendido. Mas o que significa exatidão para uma reprodução que ninguém pretendeu e ninguém percebe? Significa o grau de adaptação dos genes a seu nicho. Podemos inferir a "intenção" dos genes ao reproduzir um ambiente que irá replicá-los, a partir da teoria da evolução de Darwin. Os genes serão extintos se não representarem essa "intenção" tão eficiente ou resolutamente quanto outros genes competidores.

Portanto, processos de vida e reproduções de realidade virtual são, diferenças superficiais à parte, o mesmo tipo de processo. Ambos envolvem a personificação física de teorias gerais sobre um ambiente. Em ambos os casos, tais teorias são usadas para realizar esse ambiente e controlar interativamente não apenas sua aparência instantânea, mas também sua resposta detalhada a estímulos gerais.

Os genes incorporam conhecimento sobre seus nichos. Tudo o que tem significado fundamental sobre os fenômenos da vida depende dessa propriedade e não da replicação per se. Portanto, agora podemos levar a discussão para além dos replicadores. Em princípio, se poderia imaginar uma espécie cujos genes fossem incapazes de se replicar, mas adaptados para manter sua forma física inalterada por automanutenção contínua e protegendo a si mesmos de influências externas. Essa espécie não tem probabilidade de evoluir naturalmente, mas poderia ser construída artificialmente. Da mesma forma que o grau de adaptação de um replicador é definido como o grau com que ele contribui de modo causal para sua própria replicação, podemos definir o grau de adaptação desses senes não replicadores como o grau em que contribuem nara sua própria sobrevivência com determinada forma. Pense em uma espécie cujos genes fossem padrões gravados em diamante.

Um diamante comum com forma irregular poderia sobreviver por eras sob um amplo conjunto de circunstâncias, mas esta forma não está adaptada para a sobrevivência porque um diamante de forma diferente também sobreviveria em circunstâncias semelhantes. Mas se os genes da nossa espécie hipotética codificados no diamante fizessem com que o organismo se comportasse de maneira que, por exemplo, protegesse a superfície gravada do diamante contra a corrosão em um ambiente hostil, ou o defendesse contra outros organismos que tentassem gravar informações diferentes, ou ainda contra ladrões que o cortariam e lapidariam para transformá-lo em brilhante, ele conteria então adaptações genuínas para a sobrevivência nesses ambientes. (Incidentalmente, uma pedra preciosa tem um grau de adaptação para sobreviver no ambiente atual da Terra. Os humanos procuram diamantes brutos e mudam sua forma para fazer brilhantes. Mas procuram pedras preciosas e preservam sua forma. Portanto, nesse ambiente a forma de uma gema contribui de modo causal para sua própria sobrevivência.)

Quando a produção desses organismos artificiais cessasse, o número de ocorrências de cada gene não replicador nunca mais poderia aumentar. Também não poderia diminuir, desde que o conhecimento que ele contivesse fosse suficiente para ele representar sua estratégia de sobrevivência no nicho que ocupava. Eventualmente uma mudança suficientemente grande no hábitat, ou um atrito causado por acidentes, poderia eliminar a espécie, mas esta poderia também sobreviver durante tanto tempo quanto muitas espécies que ocorrem naturalmente. Os genes de tais espécies compartilham todas as propriedades dos genes verdadeiros, exceto a replicação. Em particular, eles incorporam o conhecimento necessário para reproduzir seus organismos da mesma maneira que os genes verdadeiros.

É a sobrevivência do conhecimento, e não necessariamente do gene ou de qualquer outro objeto físico, que é o fator comum entre genes replicadores e não replicadores. Portanto, falando estritamente, é uma parte de conhecimento em vez de um objeto físico que está ou não adaptado a certo nicho. Se está adaptado, tem a propriedade de, uma vez incorporado nesse nicho, permanecer assim. Com um replicador, a matéria física que o personifica continua mudando, com uma nova cópia sendo montada a partir de componentes não replicadores toda vez que ocorre a replicação. O conhecimento não replicador também pode ser sucessivamente incorporado em formas físicas diferentes, como, por exemplo, quando uma gravação de som antiga é transferida de um disco de vinil para uma fita magnética e,

posteriormente, para um disco compacto (CD). Pode-se imaginar outro organismo vivo artificial baseado em não replicador que fizesse o mesmo tipo de coisa, aproveitando todas as oportunidades para recopiar o conhecimento de seus genes para o meio mais seguro disponível. Talvez um dia nossos descendentes façam isso.

Penso que seria perverso chamar os organismos dessas espécies hipotéticas de “inanimados”, mas a terminologia não é realmente importante. A questão é que, embora toda a vida conhecida seja baseada em replicadores, o fenômeno da vida é realmente sobre conhecimento. Podemos dar uma definição de adaptação diretamente em termos de conhecimento: uma entidade está adaptada a seu nicho se incorpora conhecimento que faz com que o nicho mantenha esse conhecimento em existência. Agora estamos chegando mais perto da razão de a vida ser fundamental. A vida trata da incorporação física do conhecimento e, no Capítulo 6, vimos uma lei da física, o princípio de Turing, que também trata da incorporação física do conhecimento. Ele diz que é possível incorporar as leis da física, como se aplicam a todos os ambientes fisicamente possíveis, em programas para um gerador de realidade virtual. Os genes são esses programas. Não apenas isso, mas todos os outros programas de realidade virtual que existem fisicamente, ou existirão um dia, são efeitos diretos ou indiretos da vida. Por exemplo, os programas de realidade virtual que são executados nos nossos computadores e nos nossos cérebros são efeitos indiretos da vida humana. Portanto, a vida é o meio — presumivelmente um meio necessário — pelo qual os efeitos referidos no princípio de Turing têm sido implementados na natureza.

Isso é encorajador, mas insuficiente para determinar que a vida é um fenômeno fundamental. Pois ainda não estabeleci que o próprio princípio de Turing tem o “status” de uma lei fundamental. Um cético poderia argumentar que ele não tem. É uma lei sobre a incorporação física do conhecimento, e o cético poderia assumir a visão de que conhecimento é um conceito estreito e antropocêntrico e não fundamental. Isto é, é uma daquelas coisas que é significativa para nós por causa do que somos — animais cujo nicho ecológico depende da criação e aplicação do conhecimento —, mas não significativa em um sentido absoluto. Para um urso coala, cujo nicho ecológico depende das folhas do eucalipto, o eucalipto é significativo; para o macaco controlador do conhecimento, o homo sapiens, o conhecimento é significativo.

Mas o cético estaria errado. O conhecimento é significativo não somente

para o homo sapiens, não somente no planeta Terra. Eu disse que, se alguma coisa tem ou não tem grande impacto físico, não é decisivo quanto a ela ser fundamental por natureza. Mas é relevante. Vamos considerar os efeitos astrofísicos do conhecimento.

A teoria da evolução estelar — a estrutura e o desenvolvimento das estrelas — é uma das histórias de sucesso da ciência. (Note o choque de terminologias aqui. A palavra "evolução" em física significa desenvolvimento ou simplesmente movimento, não variação e seleção.) Há apenas um século, até mesmo a origem da energia do Sol era desconhecida. A melhor física da época oferecia somente a conclusão falsa de que, qualquer que fosse a fonte de energia, o Sol não poderia ter estado brilhando por mais de cem milhões de anos. E interessante que os geólogos e paleontólogos já sabiam, a partir de evidência fóssil do que a vida tinha estado fazendo, que o Sol devia estar brilhando sobre a Terra por pelo menos um bilhão de anos. Então a física nuclear foi descoberta e aplicada com grandes detalhes à física do interior das estrelas. Desde então, a teoria da evolução estelar amadureceu. Agora entendermos o que faz uma estrela brilhar. Para a maioria dos tipos de estrelas, podemos prever qual temperatura, cor, luminosidade e diâmetro ela tem em cada estágio da sua história, quanto tempo dura cada estágio, quais elementos a estrela cria por transmutações nucleares, e assim por diante. Essa teoria foi testada e confirmada por observações do Sol e outras estrelas.

Podemos usar a teoria para prever o futuro desenvolvimento do Sol. Ela diz que o Sol continuará a brilhar com grande estabilidade por mais cinco bilhões de anos, aproximadamente; então se expandirá até cerca de cem vezes seu diâmetro atual para se tornar uma estrela gigante vermelha; depois irá pulsar, explodir formando uma nova, entrar em colapso e esfriar, finalmente tornando-se uma anã negra. Mas tudo isso realmente acontecerá com o Sol? Todas as estrelas que se formaram alguns bilhões de anos antes do Sol, com a mesma massa e composição, já se tornaram gigantes vermelhas, como prevê a teoria? Ou é possível que alguns processos químicos aparentemente insignificantes, em planetas pequenos que orbitam em torno dessas estrelas, poderiam alterar o curso de um processo nuclear e gravitacional que possui incomensuravelmente mais massa e energia?

Se o Sol se tornar uma gigante vermelha, ele engolfará a destruirá a Terra. Se quaisquer dos nossos descendentes, físicos ou intelectuais, ainda estiverem na Terra nessa ocasião, eles não irão querer que isso aconteça. Farão tudo o que puder para evitá-lo.

É óbvio que eles não serão capazes? Certamente a nossa tecnologia atual é fraca demais para fazer esse trabalho. Mas nem a nossa teoria da evolução estelar nem qualquer outra física que conhecemos fornece razão para acreditarmos que a tarefa é impossível. Ao contrário, nós já sabemos, em termos amplos, o que seria necessário (ou seja, remover matéria do Sol). E temos vários bilhões de anos para aperfeiçoar nossos planos ainda imaturos e colocá-los em prática. Se os nossos descendentes tiverem sucesso ao se salvar dessa maneira, a nossa teoria atual da evolução estelar, quando aplicada a determinada estrela, o Sol, fornece uma resposta inteiramente errada. E o motivo de ela dar a resposta errada é que não leva em conta o efeito da vida na evolução estelar. Ela leva em conta efeitos físicos fundamentais, como forças nucleares e eletromagnéticas, gravidade, pressão hidrostática e pressão da radiação, mas não a vida.

Parece provável que o conhecimento necessário para controlar o Sol dessa maneira não poderia evoluir somente por seleção natural, portanto deve ser especificamente vida inteligente de cuja presença depende o futuro do Sol. Pode-se objetar que é uma suposição imensa e sem sustentação que a inteligência sobreviverá na Terra por vários bilhões de anos e, mesmo que sobreviva, é uma suposição adicional que ela possuirá o conhecimento requerido para controlar o Sol. Uma visão corrente é que a vida inteligente na Terra mesmo agora corre perigo de se destruir, se não por guerra nuclear, por algum catastrófico efeito colateral do avanço tecnológico ou pesquisa científica. Muitas pessoas acham que, se a vida inteligente sobreviverá na Terra, será somente por eliminação do progresso tecnológico. Portanto, temem que o desenvolvimento da tecnologia necessário para regular as estrelas seja incompatível com a sobrevivência durante um período suficiente para usar essa tecnologia e, logo, que a vida na Terra está destinada, de um modo ou de outro, a não afetar a evolução do Sol.

Tenho certeza que esse pessimismo está mal orientado e, como explicarei no Capítulo 14, existem todos os motivos para presumir que os nossos descendentes finalmente controlarão o Sol e muito mais. Reconhecidamente, não podemos prever nem sua tecnologia nem seus desejos. Eles podem optar por salvar a si mesmos emigrando do sistema solar, ou esfriando a Terra, ou com quaisquer outros métodos, inconcebíveis para nós, que não envolvam mexer com o Sol. Por outro lado, eles podem querer controlar o Sol muito mais cedo do que seria necessário para evitar que entrasse na fase de gigante vermelha (por exemplo, aproveitar sua

energia com maior eficiência, ou explorá-lo para retirar matéria-prima a fim de construir mais espaço para viverem). Entretanto, o que estou questionando aqui não depende de sermos capazes de prever o que acontecerá, mas apenas da proposição de que o que acontecerá dependerá do conhecimento que terão nossos descendentes e de como escolherão aplicá-lo. Assim, não se pode prever o futuro do Sol sem assumir uma posição sobre o futuro da vida na Terra e, em particular, sobre o futuro do conhecimento. A cor do Sol daqui a dez bilhões de anos depende de gravidade e pressão da radiação, de convecção e nucleossíntese. Não depende de forma alguma da geologia de Vênus, da química de Júpiter ou do padrão de crateras da Lua. Mas depende do que acontece com a vida inteligente no planeta Terra. Depende de política e economia, e dos resultados das guerras. Depende do que as pessoas fazem: que decisões tomam, que problemas solucionam, que valores adotam e como se comportam em relação a seus filhos.

Não se pode evitar essa conclusão adotando uma teoria pessimista sobre a perspectiva da nossa sobrevivência. Essa teoria não resulta das leis da física nem de outro princípio fundamental que conhecemos e pode ser justificada somente em termos humanos de alto nível (como “o conhecimento científico excedeu o conhecimento moral” ou qualquer outra coisa). Portanto, ao argumentar a partir dessa teoria, aceita-se implicitamente que teorias das atividades humanas são necessárias para fazer previsões astrofísicas. E, mesmo se a raça humana falhar em seus esforços para sobreviver, a teoria pessimista se aplicará a toda a inteligência extraterrestre do universo? Se não se aplicar — se alguma vida inteligente de alguma galáxia tiver sucesso em sobreviver durante bilhões de anos — a vida será significativa no desenvolvimento físico total do universo.

Em toda a nossa galáxia, e no multiverso, a evolução estelar depende de se e onde a vida inteligente evoluiu e, se evoluiu, dos resultados de suas guerras e de como ela trata suas crianças. Por exemplo, podemos prever aproximadamente a quantidade de estrelas de cores diferentes (mais precisamente, de tipos espectrais diferentes) que deve existir na galáxia. Para fazer isso, teremos de fazer algumas suposições sobre quanto de vida inteligente existe lá fora e o que eles têm feito (ou seja, que não têm apagado muitas estrelas). No momento, as nossas observações são consistentes com não haver vida inteligente fora do sistema solar. Quando nossas teorias da estrutura da nossa galáxia forem mais refinadas, poderemos fazer previsões mais precisas, mas outra vez apenas com base em suposições sobre a

distribuição e o comportamento da inteligência na galáxia. Se essas suposições forem incorretas, preveremos uma distribuição errada de tipos espectrais, tão certamente quanto se tivéssemos de cometer um erro sobre a composição dos gases interestelares ou sobre a massa do átomo de hidrogênio. E, se detectarmos certas anomalias na distribuição dos tipos espectrais, isso poderia ser evidência da presença de inteligência extraterrestre.

Os cosmólogos John Barrow e Frank Tipler levaram em consideração os efeitos astrofísicos que a vida teria se sobrevivesse por muito tempo depois que o Sol se tornasse uma gigante vermelha. Eles descobriram que a vida eventualmente faria grandes mudanças qualitativas na estrutura da galáxia e depois na estrutura de todo o universo. (Voltarei a esses resultados no Capítulo 14.) Portanto, mais uma vez, quaisquer teorias da estrutura do universo em todos os estágios, exceto os primeiros, devem assumir uma posição sobre o que a vida estará ou não fazendo na ocasião. Não existe saída para isso: a história futura do universo depende da história futura do conhecimento. Os astrólogos costumam acreditar que eventos cósmicos influenciam as atividades humanas; a ciência acreditou durante séculos que uns não influenciavam as outras. Agora vemos que as atividades humanas influenciam os eventos cósmicos.

Vale a pena refletir sobre onde nos perdemos ao subestimar o impacto físico da vida. Foi por termos pontos de vista excessivamente restritos. (Isso é irônico, porque o consenso antigo evitava o nosso erro sendo ainda mais restrito.) No universo da maneira que o vemos, a vida não afeta nada que tenha significância astrofísica. Entretanto, nós vemos somente o passado e é somente o passado do que está perto de nós no espaço que vemos com detalhes. Quanto mais longe olhamos para o universo, mais longe olhamos para trás no tempo e menos detalhes vemos. Mas mesmo o passando inteiro — a história do universo desde o Big Bang até agora — é apenas uma pequena parte da realidade física. Há pelo menos dez vezes mais história para decorrer entre agora e o Big Crunch (se isso acontecer) e, provavelmente muito mais, para não falar dos outros universos. Não podemos observar nada disso, mas quando aplicamos nossas melhores teorias ao futuro das estrelas, e das galáxias e do universo, encontramos muita extensão para a vida afetar e, a longo prazo, para dominar tudo o que acontece, da mesma forma que agora domina a biosfera da Terra.

O argumento convencional para a insignificância da vida dá muita

importância a quantidades grandes, como tamanho, massa e energia. No passado e no presente restritos essas coisas eram e são boas medidas de significância astrofísica, mas não existe motivo dentro da física para continuar a ser assim. Além disso, a própria biosfera já fornece contraexemplos abundantes da aplicabilidade geral dessas medidas de significância. No século III a.C., por exemplo, a massa da raça humana era de cerca de dez milhões de toneladas. Podia-se, portanto, concluir ser o improvável que processos físicos que ocorreram no século III a.C. e envolviam o movimento de muitas vezes essa massa poderiam ser afetados significativamente pela presença ou ausência de seres humanos. Mas a Grande Muralha da China, cuja massa é de cerca de 300 milhões de toneladas, foi construída naquela época. Mover milhões de toneladas de rochas é o tipo de coisa que os seres humanos fazem o tempo todo. Hoje em dia apenas algumas dúzias de seres humanos escavam um corte ou túnel de ferrovia de um milhão de toneladas. (A argumentação fica ainda mais forte se fizermos uma comparação mais justa entre a massa de uma rocha deslocada e a massa daquela pequenina parte do cérebro do engenheiro, ou imperador, que incorpora as ideias, ou memes, que fizeram com que a rocha fosse deslocada.) A raça humana como um todo (ou, se preferirmos, seu estoque de memes) provavelmente já tem conhecimento suficiente para destruir planetas inteiros, caso a sua sobrevivência dependa disso. Mesmo vida não inteligente tem transformado muitas vezes sua própria massa da superfície e atmosfera da Terra. Todo o oxigênio da nossa atmosfera, por exemplo (cerca de mil trilhões de toneladas), foi criado por plantas e, portanto, foi efeito colateral da replicação dos genes, isto é, moléculas, que eram descendentes de uma única molécula. A vida alcança seus efeitos não por ser maior, ter mais massa ou ser mais energética do que outros processos físicos, mas por ser mais inteligente. Em termos de seu efeito total sobre os resultados dos processos físicos, o conhecimento é pelo menos tão significativo quanto qualquer outra quantidade física.

Mas existe, como os antigos presumiram que deva haver no caso da vida, uma diferença física básica entre objetos que contêm conhecimento e objetos que não contêm conhecimento, a qual não depende nem dos ambientes dos objetos nem dos seus efeitos sobre o futuro remoto, mas apenas dos atributos físicos imediatos dos objetos? Notadamente, existe. Para ver o que é, devemos assumir a visão de multiverso.

Pense no DNA de um organismo vivo, como um urso, e suponha que em

algum lugar em um dos seus genes encontramos a sequência TCGTCGTTTC. Essa cadeia de dez moléculas em particular, no nicho especial que consiste no resto do gene e seu nicho, é um replicador. Ela incorpora uma quantia pequena mas significativa de conhecimento. Agora suponha, para a finalidade de argumento, que podemos encontrar um segmento (não-gene) de DNA redundante no DNA do urso que também tem a sequência TCGTCGTTTC. Contudo, não vale a pena chamar essa sequência de replicador, porque ela quase não contribui para sua replicação e não incorpora conhecimento. E uma sequência aleatória. Portanto, temos dois objetos físicos, ambos segmentos da mesma cadeia de DNA, um dos quais incorpora conhecimento e o outro que é uma sequência aleatória. Mas eles são fisicamente idênticos. Como o conhecimento pode ser uma quantidade física fundamental se um objeto o tem enquanto um objeto fisicamente idêntico não o tem?

Pode, porque esses dois segmentos não são realmente idênticos. Eles apenas parecem idênticos quando vistos de alguns universos, como o nosso. Vamos olhar para eles outra vez, como aparecem em outros universos. Não podemos observar diretamente outros universos, portanto precisamos usar uma teoria.

Nós sabemos que o DNA em organismos vivos está naturalmente sujeito a variações aleatórias — mutações — na sequência de moléculas A, C, G e T. De acordo com a teoria da evolução, as adaptações em genes e, portanto, a própria existência dos genes, dependem de terem ocorrido essas mutações. Por causa das mutações, populações de qualquer gene contêm um grau de variação e indivíduos que carregam genes com graus mais elevados de adaptação tendem a ter mais prole do que outros indivíduos. A maioria das variações de um gene o tornam incapaz de causar sua replicação, porque a sequência alterada não mais instrui a célula a fabricar qualquer coisa útil. Outras meramente tornam a replicação menos provável (isto é, estreitam o nicho do gene). Mas algumas podem incorporar novas instruções que tornam a replicação mais provável. Assim ocorre a seleção natural. A cada geração de variação e replicação, o grau de adaptação dos genes sobreviventes tende a aumentar. Uma mutação aleatória, causada, por exemplo, por um raio cósmico, causa variação não apenas dentro da população do organismo em um universo, mas também entre universos. Um “raio” cósmico é uma partícula subatômica de alta energia e, como um fóton emitido de uma lanterna, viaja em direções diferentes em universos diferentes. Portanto, quando uma partícula de raio cósmico atinge uma fita de DNA e causa uma

mutação, algumas das suas contrapartes em outros universos estão errando suas cópias de fitas de DNA, ao passo que outras as estão atingindo em diferentes posições e desta forma causando diferentes mutações. Assim, um único raio cósmico atingindo uma única molécula de DNA geralmente faz com que uma grande série de mutações apare¬ça em diferentes universos.

Quando estamos considerando como determinado objeto pode parecer em outros universos, não devemos olhar tão longe no multiverso a ponto de ser impossível identificar uma contraparte, no outro universo, desse objeto. Considere, por exemplo, um segmento de DNA. Em alguns universos não existem moléculas de DNA. Alguns universos que contêm DNA são tão diferentes do nosso que não há como identificar qual segmento de DNA do outro universo corresponde ao que estamos considerando neste universo. Não tem sentido perguntar qual a aparência do nosso segmento de DNA específico em tal universo, portanto devemos considerar somente universos que sejam suficientemente semelhantes ao nosso para que não surja essa ambiguidade. Por exemplo, poderíamos considerar somente os universos em que existem ursos e nos quais uma amostra do DNA do urso tenha sido colocada em uma máquina analisadora, programada para imprimir dez letras representando a estrutura em uma posição específica relativa a certos marcos em uma fita especificada de DNA. A discussão a seguir não seria afetada se tivéssemos de escolher qualquer outro critério razoável para identificar segmentos de DNA correspondentes em universos vizinhos.

Por qualquer critério deste tipo, o segmento de gene do urso deve ter em quase todos os universos vizinhos a mesma sequência que tem no nosso. Isso porque presume-se que seja altamente adaptado, o que significa que muitas das suas variações não teriam sucesso em copiar a si mesmas na maioria das variações do seu ambiente e, portanto, não poderiam aparecer naquele local no DNA de um urso vivo. Em contraste, quando o DNA que não contém conhecimento sofre quase qualquer mutação, a versão mutante ainda é capaz de ser copiada. Durante gerações de replicação, muitas mutações terão ocorrido, e a maioria delas não terá tido efeito sobre a replicação. Portanto, o segmento de DNA redundante, ao contrário da sua contraparte no gene, será completamente heterogêneo em universos diferentes. Pode muito bem acontecer que todas as variações possíveis da sua sequência sejam igualmente representadas no multiverso (é isso o que deveríamos querer dizer com sua sequência ser estritamente aleatória).

Portanto, a perspectiva de multiverso revela uma estrutura física

adicional no DNA do urso. Nesse universo, ela contém dois segmentos com a sequência TCGTCGTTTC. Um deles é parte de um gene, ao passo que o outro não é parte de nenhum gene. Na maioria dos outros universos vizinhos, o primeiro dos dois segmentos tem a mesma sequência, TCGTCGTTTC, como no nosso universo, mas o segundo segmento varia grandemente entre universos próximos. Portanto, na perspectiva do multiverso, os dois segmentos não são nem remotamente semelhantes (Figura 8.1).

Mais uma vez tivemos atitude muito restrita e fomos levados à falsa conclusão de que as entidades que contêm conhecimento podem ser fisicamente idênticas às que não contêm; e isso, por sua vez, lança dúvidas sobre o "status" fundamental do conhecimento. Mas agora quase fechamos o círculo. Podemos ver que a ideia antiga de que a matéria viva tem propriedades físicas especiais era quase verdadeira: não é a matéria viva, mas a matéria que contém conhecimento que é fisicamente especial. Dentro de um universo ela parece irregular; através de universos ela tem uma estrutura regular, como um cristal no multiverso.

Portanto, o conhecimento é uma quantidade física fundamental, no final das contas, e o fenômeno da vida é apenas um pouco menos que isso.

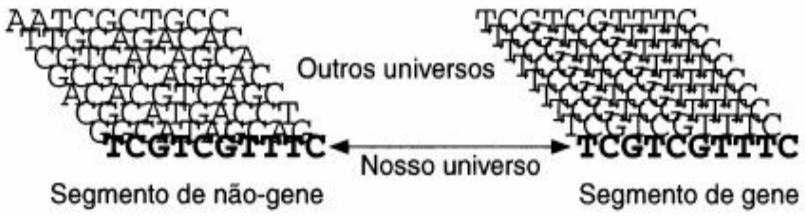


Figura 8.1 *Visão de multiverso de dois segmentos de DNA que são idênticos no nosso universo, um aleatório e um de dentro de um gene.*

Imagine olhar para uma molécula de DNA de uma célula de urso através de um microscópio eletrônico e tentar distinguir as sequências de genes e de não genes e esti¬mar o grau de adaptação de cada gene. Em qualquer universo, essa tarefa é impossível. A propriedade de ser um gene — isto é, de ser altamente adaptado — é, até onde pode ser detectado dentro de um universo, extremamente complicada. É uma propriedade emergente. Você teria de fazer muitas cópias do DNA, com variações, usar engenharia genética para criar muitos embriões de urso para cada variação do DNA, permitir que os ursos crescessem e vivessem em uma variedade de ambientes representativos do nicho do urso e ver quais ursos teriam sucesso em gerar descendentes.

Mas com um microscópio mágico que pudesse ver dentro de outros universos (o que, enfatizo, não é possível: estamos usando teoria para imaginar — ou reproduzir — o que sabemos que deve estar lá), a tarefa seria fácil. Como na Figura 8.1, os genes se distinguiriam dos não genes da mesma forma que campos cultivados se distinguem de uma floresta em uma fotografia aérea, ou como cristais que se precipitaram da solução. Eles são regulares através de muitos universos vizinhos, ao passo que todos os não genes, segmentos de DNA redundantes, são irregulares. Quanto ao grau de adaptação de um gene, é quase tão fácil de estimar. Os genes mais bem adaptados têm a mesma estrutura em uma faixa mais ampla de universos — eles têm "cristais" maiores.

Agora vá para um planeta alienígena e tente encontrar as formas de vida locais, se houver. Mais uma vez, isso é uma tarefa notoriamente difícil. Você teria de fazer experimentos complexos e sutis, cujas infinitas armadilhas têm sido o assunto de muitas histórias de ficção científica. Mas se você pudesse observar através de um telescópio de multiverso, a vida e suas consequências seriam óbvias de um relance. Você precisa apenas procurar estruturas complexas que pareçam irregulares em qualquer universo, mas são idênticas através de muitos universos vizinhos. Se você vir alguma delas, terá encontrado algum conhecimento fisicamente incorporado. Onde há conhecimento, deve ter tido vida, pelo menos no passado.

Compare um urso vivo com a constelação da Ursa Maior. O urso vivo é anatomicamente muito semelhante em muitos universos vizinhos. Não são apenas seus genes que têm essa propriedade, mas seu corpo inteiro (embora outros atributos do seu corpo, como o peso, possam variar muito mais do que os genes; isso porque, por exemplo, em universos diferentes o urso tem sido mais ou menos bem-sucedido em sua busca recente por alimento). Mas na constelação da Ursa Maior não existe essa regularidade de um universo para outro. A forma da constelação é o resultado das condições iniciais no gás galáctico do qual as estrelas foram formadas. Essas condições eram aleatórias — muito variadas em universos diferentes, em nível microscópico — e o processo da formação das estrelas a partir do gás envolveu várias instabilidades que amplificaram a escala das variações. Como resultado, o padrão de estrelas que vemos na constelação só existe em uma faixa muito estreita de universos. Na maioria das variações próximas do nosso universo também existem constelações no céu, mas elas têm aparência diferente.

Finalmente, vamos olhar para o universo de modo semelhante. O que

atrairá o nosso olhar magicamente intensificado? Em um único universo as estruturas mais impressionantes são galáxias e agrupamentos de galáxias. Mas esses objetos não têm estrutura discernível através do multiverso. Onde há uma galáxia em um universo, uma miríade de galáxias com geografia muito diferente estão empilhadas no multiverso. E é assim em qualquer lugar do multiverso. Universos vizinhos são semelhantes somente em certas características grosseiras, como é requerido pelas leis da física, que se aplicam a todos eles. Assim, a maioria das estrelas são quase exatamente esféricas em qualquer lugar do multiverso, e a maioria das galáxias são espirais ou elípticas. Mas nada se estende para dentro de outros universos sem que sua estrutura detalhada mude de maneira irreconhecível. Isto é, exceto naqueles poucos lugares onde há conhecimento incorporado. Nesses lugares, os objetos se estendem reconhecivelmente através de grande número de universos. Talvez a Terra seja o único lugar assim no nosso universo atualmente. Em qualquer caso, esses lugares se destacam, no sentido que descrevi, como o local dos processos — vida e pensamento — que geraram as maiores estruturas distintas no multiverso.

Terminologia Empregada no Capítulo

Replicador — Uma entidade que faz com que certos ambientes façam cópias dela.

Gene — Um replicador molecular. A vida na Terra é baseada em genes que são fitas de DNA (RNA no caso de alguns vírus).

Meme — Uma ideia que é um replicador, como uma piada ou uma teoria científica.

Nicho — O nicho de um replicador é o conjunto de todos os ambientes possíveis no qual o replicador causaria sua própria replicação. O nicho de um organismo é o conjunto de todos os ambientes e estilos de vida possíveis no qual ele poderia viver e se reproduzir.

Adaptação — O grau em que um replicador está adaptado a um nicho é o grau em que ele causa sua própria replicação nesse nicho. De modo mais geral, uma entidades está adaptada a seu nicho até onde incorpora conhecimento que faz com que o nicho mantenha esse conhecimento em existência.

Resumo

O progresso científico desde Galileu pareceu refutar a antiga ideia de que a vida é um fenômeno fundamental da natureza. Ele revelou a vasta escala do universo, quando comparado com a biosfera da Terra. A moderna

biologia parece ter confirmado essa refutação, explicando os processos da vida em termos de replicadores moleculares, os genes, cujo comportamento é governado pelas mesmas leis da física que se aplicam à matéria inanimada. Não obstante, a vida está associada a um princípio fundamental da física — o princípio de Turing — pois ele é um meio pelo qual a realidade virtual foi primeiramente realizada na natureza. Além disso, apesar das aparências, a vida é um processo significativo nas maiores escalas de tempo e espaço. O comportamento futuro da vida determinará o comportamento futuro das estrelas e galáxias. E a estrutura regular de maior escala através de universos existe onde evoluiu matéria que contém conhecimento, como cérebros ou segmentos de DNA de genes.

Essa conexão direta entre a teoria da evolução e a teoria quântica é, na minha opinião, uma das conexões mais impressionantes e inesperadas das muitas que existem entre os quatro elementos. Outra é a existência de uma substantiva teoria quântica da computação subjacente à teoria da computação existente. Essa conexão é o assunto do capítulo seguinte.

9 Computadores Quânticos

Para qualquer principiante no assunto, computação quântica pode parecer o nome de uma nova tecnologia, talvez a última na notável sucessão que incluiu computação mecânica, computação eletrônica transistorizada, computação com chips de silício e assim por diante. E é verdade que mesmo a tecnologia de computadores existente depende de processos quânticos microscópicos. (É claro que todos os processos físicos são quânticos, mas me refiro aqui àqueles para os quais a física clássica — isto é, a física não quântica — fornece previsões bem inexatas.) Se continuar a tendência em direção a hardware de computador cada vez mais rápido e mais compacto, a tecnologia deverá se tornar ainda mais "quântica" nesse sentido, simplesmente porque os efeitos quânticos são dominantes em todos os sistemas suficientemente pequenos. Se não houvesse nada mais que isso, a computação quântica dificilmente poderia figurar em qualquer explicação fundamental da estrutura da realidade, pois não haveria nada nela fundamentalmente novo. Todos os computadores atuais, quaisquer que sejam os processos quânticos que utilizem, são meramente implementações tecnológicas diferentes da mesma ideia clássica, a da máquina universal de Turing. Por isso o repertório de cálculos disponíveis a todos os computadores existentes é essencialmente o mesmo: eles diferem somente em velocidade, capacidade de memória e dispositivos de entrada e saída. Isso quer dizer que, até mesmo o mais inferior dos computadores domésticos atuais pode ser programado para solucionar qualquer problema, ou reproduzir qualquer ambiente, que os nossos mais poderosos computadores podem fazer, desde que lhe seja fornecida memória adicional, tempo suficiente para funcionamento e hardware apropriado para exibir os resultados.

A computação quântica vai além de ser uma tecnologia mais rápida e miniaturizada para a implementação de máquinas de Turing. Um computador quântico é uma máquina que usa unicamente efeitos quânticos, principalmente a interferência, para executar tipos totalmente novos de computação que seriam impossíveis, mesmo em princípio, em qualquer máquina de Turing e, portanto, em qualquer computador clássico. A computação quântica é, portanto, nada menos do que um meio inconfundivelmente novo de utilizar a natureza.

Quero desenvolver essa afirmação. As mais antigas invenções para tirar

proveito da natureza foram ferramentas acionadas por músculos humanos. Elas revolucionaram a situação dos nossos ancestrais, mas sofriam a limitação de exigir atenção e esforço humano contínuos durante todo o tempo de sua utilização. Uma tecnologia subsequente superou essa limitação: os seres humanos conseguiram domesticar certos animais e plantas, aplicando a adaptação biológica desses organismos às finalidades humanas. Assim, as safras podiam crescer e os cães de guarda podiam vigiar, mesmo quando seus donos dormiam. Outro tipo de tecnologia surgiu quando os seres humanos foram além de meramente explorar adaptações existentes (e fenômenos não biológicos existentes, como o fogo) e criaram adaptações completamente novas no mundo, na forma de cerâmica, tijolos, rodas, artefatos e máquinas de metal. Para fazer isso, tiveram de pensar e entender as leis naturais que governam o mundo, inclusive, como já expliquei, não apenas seus aspectos superficiais, mas a estrutura subjacente da realidade. Seguiram-se milhares de anos de progresso nesse tipo de tecnologia — utilização de alguns materiais, forças e energias da física. No século XX, a informação foi acrescentada a essa lista, quando a invenção dos computadores permitiu que o processamento de informações complexas se realizasse fora do cérebro humano. A computação quântica, que agora está na primeira infância, é mais um passo distinto nessa progressão. Será a primeira tecnologia a permitir que tarefas úteis sejam realizadas com colaboração entre universos paralelos. Um computador quântico seria capaz de distribuir componentes de uma tarefa complexa entre um vasto número de universos paralelos e depois compartilhar os resultados.

Eu já mencionei a importância da universalidade computacional — o fato de um único computador fisicamente possível, desde que lhe sejam dados tempo e memória suficientes, poder executar qualquer cálculo que qualquer outro computador fisicamente possível poderia executar. As leis da física como atualmente conhecemos admitem a universalidade computacional. Entretanto, para ser útil ou significativa no esquema geral das coisas, a universalidade como defini até agora não é suficiente. Ela apenas significa que o computador universal eventualmente poderia fazer o que qualquer outro computador pode. Em outras palavras, dado o tempo suficiente, ele é universal. Mas e se ele não tiver tempo suficiente? Imagine um computador universal que pudesse executar somente um passo de computação em todo o tempo de vida do universo. A universalidade dele ainda seria uma propriedade profunda da realidade? Presumivelmente, não.

Falando de maneira mais geral, pode-se criticar essa noção estreita de universalidade porque ela classifica uma tarefa como estando no repertório de um computador, não importando os recursos físicos que o computador utilizaria para executá-la. Assim, por exemplo, consideramos um usuário de realidade virtual preparado para ficar em animação suspensa durante bilhões de anos enquanto o computador calcula o que deve mostrar em seguida. Ao discutir os limites extremos da realidade virtual, essa é a atitude apropriada a ser tomada. Mas quando estamos considerando a utilidade da realidade virtual — ou, o que é ainda mais importante, o papel fundamental que ela representa na estrutura da realidade — devemos ser mais discriminadores. A evolução nunca teria decolado se a tarefa de reproduzir certas propriedades dos mais antigos e simples hábitats não tivesse sido tratável (isto é, calculável em tempo razoável) usando moléculas prontamente disponíveis como computadores. De modo semelhante, a ciência e a tecnologia nunca teriam decolado se tivessem sido necessários mil anos de pensamento para criar uma ferramenta de pe-dra. Além disso, o que era verdadeiro no começo continuou sendo uma condição absoluta para o progresso em todas as etapas. A universalidade computacional não teria muita utilidade para genes, não importando quanto conhecimento contivessem, se a reprodução de seu organismo fosse uma tarefa intratável — digamos, se um ciclo reprodutivo levasse bilhões de anos.

Assim, o fato de existirem organismos complexos e de ter havido uma sucessão de invenções e teorias científicas gradualmente melhores (como a mecânica galileana, a mecânica newtoniana, a mecânica einsteiniana, a mecânica quântica...) nos diz alguma coisa mais sobre que tipo de universalidade computacional existe na realidade. Ela nos diz que as leis reais da física, pelo menos até agora, são capazes de ser sucessivamente aproximadas por teorias que dão explicações e previsões sempre melhores, e que a tarefa de descobrir cada teoria, dada a anterior, tem sido tratável de modo computacional, dadas as leis previamente conhecidas e a tecnologia previamente disponível. A estrutura da realidade deve ser, por assim dizer, disposta em camadas, para haver um auto acesso fácil. De modo semelhante, se pensarmos na própria evolução como uma computação, ela nos dirá que têm existido organismos viáveis suficientes, codificados por DNA, para permitir que os mais adaptados sejam computados (isto é, evoluam) usando os recursos fornecidos por seus predecessores menos adaptados. Portanto, podemos inferir que as leis da física, além de ordenar sua própria

compreendibilidade por meio do princípio de Turing, asseguram que os processos evolutivos correspondentes, como a vida e o pensamento, não são muito consumidores de tempo nem requerem muitos recursos de qualquer outro tipo para ocorrer na realidade.

Portanto, as leis da física não somente permitem (ou, como argumentei, exigem) a existência de vida e pensamento, mas também exigem que eles sejam, em algum sentido apropriado, eficientes. Para exprimir essa propriedade crucial da realidade, as análises modernas da universalidade normalmente postulam computadores universais em um sentido tão mais forte que, diante disso, o princípio de Turing exigiria: os geradores universais de realidade virtual não somente são possíveis, mas é possível construí-los de forma que não exijam recursos impraticavelmente grandes para reproduzir aspectos simples da realidade. De agora em diante, quando eu me referir a universalidade, será nesse sentido, a não ser declarado o contrário.

Com que eficiência podem ser reproduzidos determinados aspectos da realidade? Em outras palavras, que cálculos são praticáveis em dado tempo e com dado orçamento? Esta é a questão básica da teoria da complexidade computacional que, como eu já disse, é o estudo dos recursos necessários para executar determinadas tarefas computacionais. A teoria da complexidade ainda não foi suficientemente bem integrada à física para fornecer muitas respostas quantitativas. Entretanto, ela fez um progresso razoável ao definir uma distinção útil e prática entre tarefas computacionais tratáveis e intratáveis. A abordagem geral é mais bem ilustrada com um exemplo. Pense na tarefa de multiplicar dois números relativamente grandes, digamos 4.220.851 e 2.594.209. Muitos de nós lembramos o método que aprendemos na infância para efetuar essa multiplicação. Ele consiste em multiplicar cada dígito de um número por cada dígito do outro número, enquanto deslocamos e adicionamos os resultados de um modo padronizado para obter a resposta final que, neste caso, é 10.949.769.651.859- Muitos podem relutar em admitir que esse procedimento cansativo torna a multiplicação “tratável” em qualquer sentido comum da palavra. (Realmente existem métodos mais eficientes para multiplicar números grandes, mas este oferece uma boa ilustração.) Contudo, do ponto de vista da teoria da complexidade, que lida com tarefas enormes executadas por computadores que não estão sujeitos ao tédio e quase nunca cometem erros, este método certamente entra na categoria de “tratável”.

O que conta para a “testabilidade”, de acordo com as definições padrão, não é o verdadeiro tempo necessário para multiplicar determinado par de

números, mas o fato de que o tempo não aumenta muito bruscamente quando aplicamos o mesmo método a números cada vez maiores. Talvez seja surpreendente que esse modo um tanto indireto de definir a testabilidade funcione muito bem na prática para muitas (embora nem todas as) classes importantes de tarefas computacionais. Por exemplo, com a multiplicação podemos facilmente ver que o método padrão pode ser usado para multiplicar números que são, digamos, dez vezes maiores, com muito pouco trabalho adicional. Suponha, para argumentação, que cada multiplicação elementar de um algarismo por outro ocupa certo computador durante um microssegundo (incluindo o tempo necessário para efetuar as adições, deslocamentos e outras operações que se seguem a cada multiplicação elementar). Quando multiplicamos os números de sete dígitos, 4.220.851 e 2.594.209, cada um dos sete dígitos em 4.220.851 deve ser multiplicado por cada um dos sete dígitos de 2.594.209. Portanto, o tempo total requerido para a multiplicação (se as operações forem efetuadas sequencialmente) será sete vezes sete ou 49 microssegundos. Para entradas aproximadamente dez vezes maiores que essas, que teriam oito dígitos cada uma, o tempo necessário para multiplicá-las seria de 64 microssegundos, um aumento de apenas 31%.

Claramente, números de intervalo imenso — certamente incluindo quaisquer números que já tenham sido medidos como os valores de variáveis físicas — podem ser multiplicados em uma pequena fração de segundo. Portanto, a multiplicação é realmente tratável para todos os propósitos dentro da física (ou, pelo menos, dentro da física existente). Reconhecidamente, as razões práticas para multiplicar números muito maiores podem surgir fora da física. Por exemplo, o produto de números primos de aproximadamente 125 algarismos é de grande interesse para os criptógrafos. A nossa máquina hipotética poderia multiplicar dois desses números primos, resultando em um produto de 250 dígitos, em pouco mais de um centésimo de segundo. Em um segundo, ela poderia multiplicar dois números de 1.000 algarismos, e computadores de verdade disponíveis atualmente podem facilmente melhorar esses tempos. Somente alguns pesquisadores de ramos esotéricos da matemática pura estão interessados em efetuar essas multiplicações incompreensivelmente vastas, embora possamos ver que até mesmo eles não têm motivos para considerar a multiplicação como intratável.

Contrastando com isso, a fatoração, essencialmente o inverso da multiplicação, parece muito mais difícil. Começa-se com um único número como entrada, digamos 10.949.769.651.859, e a tarefa é encontrar dois

fatores, isto é, números menores que, quando multiplicados, perfazem 10.949.769.651.859- Como acabamos de multiplicá-los, sabemos que a resposta, neste caso, é 4.220.851 e 2.594.209 (e, como eles são primos, esta é a única resposta correta). Mas sem esse conhecimento, como teríamos encontrado os fatores? Você procurará em vão por um método fácil entre as lembranças da sua infância, porque não existe nenhum.

O método de fatoração mais óbvio é dividir o número de entrada por todos os fatores possíveis, começando com 2 e continuando com todos os números ímpares até que um deles divida a entrada exatamente. Pelo menos um dos fatores (assumindo que a entrada não seja um número primo) não pode ser maior que a raiz quadrada da entrada e isso oferece uma estimativa de quanto tempo o método poderá levar. No caso que estamos examinando, o nosso computador encontraria o menor dos dois fatores, 2.594.209, em pouco mais de um segundo. Entretanto, uma entrada dez vezes maior teria uma raiz quadrada cerca de três vezes maior, portanto, fatorá-la com esse método levaria até três vezes mais tempo. Em outras palavras, a adição de um dígito à entrada triplicaria o tempo de execução. A adição de outro dígito o triplicaria novamente e assim por diante. Portanto, o tempo de execução aumentaria em proporção geométrica, isto é, exponencialmente, com a quantidade de dígitos do número que estamos fatorando. A fatoração de um número com fatores de 25 dígitos por esse método ocuparia todos os computadores da Terra durante séculos. O método pode ser aperfeiçoado, mas todos os métodos de fatoração atualmente em uso têm essa propriedade de aumento exponencial. O maior número que já foi fatorado “com raiva” — um número cujos fatores foram escolhidos secretamente por matemáticos para apresentar um desafio a outros matemáticos — tinha 129 algarismos. A fatoração foi conseguida, depois de um apelo feito na Internet, em um esforço cooperativo global envolvendo milhares de computadores. O cientista de computação Donald Knuth estimou que a fatoração de um número de 250 algarismos, usando os métodos conhecidos mais eficientes, levaria mais de um milhão de anos em uma rede de um milhão de computadores. Essas coisas são difíceis de estimar, mas mesmo que Knuth esteja sendo pessimista demais, só é preciso considerar números com alguns dígitos a mais e a tarefa se tornará muitas vezes mais difícil. Isso é o que queremos dizer quando afirmamos que a fatoração de números grandes é intratável. Tudo isso está a uma grande distância da multiplicação, onde, como vimos, a tarefa de multiplicar um par de números de 250 dígitos é uma trivialidade para qualquer computador doméstico.

Ninguém pode nem mesmo imaginar como seria possível fatorar números de mil dígitos ou com um milhão de dígitos.

Pelo menos, ninguém podia imaginar isso, até recentemente.

Em 1982, o físico Richard Feynman examinou a simulação por computador de objetos quânticos. Seu ponto de partida era algo conhecido há algum tempo mas sem que seu significado fosse apreciado, ou seja, que a previsão do comportamento de sistemas quânticos (ou, como podemos descrever, a reprodução de ambientes quânticos em realidade virtual) é, em geral, uma tarefa intratável. Uma razão para isso não ter sido reconhecido é que ninguém esperava que a previsão por computador de fenômenos físicos interessantes fosse especialmente fácil. Considere, por exemplo, a previsão de terremotos ou do tempo. Embora as equações relevantes sejam conhecidas, a dificuldade de aplicá-las a situações reais é notória. Isso foi recentemente levado à atenção do público em livros e artigos populares sobre o caos e o "efeito borboleta". Esses efeitos não são responsáveis pela intratabilidade que Feynman tinha em mente, pelo simples motivo de que eles ocorrem somente na física clássica, isto é, não na realidade, pois a realidade é quântica. Não obstante, quero fazer algumas observações sobre os movimentos "caóticos" clássicos, mesmo que apenas para destacar os caracteres muito diferentes da imprevisibilidade clássica e quântica.

A teoria do caos é sobre limitações da previsibilidade na física clássica, ramificando-se do fato de que quase todos os sistemas clássicos são inerentemente instáveis. A "instabilidade" em questão não tem nada a ver com alguma tendência para comportamento violento ou desintegração. Diz respeito à extrema sensibilidade para com condições iniciais. Suponha que conheçamos o estado atual de algum sistema físico, como um conjunto de bolas de bilhar rolando em uma mesa. Se o sistema obedecesse à física clássica, como faz com boa aproximação, poderíamos determinar seu comportamento futuro — digamos, se determinada bola entrará ou não em uma caçapa — a partir das leis do movimento relevantes, da mesma forma que podemos prever um eclipse ou uma conjunção planetária a partir das mesmas leis. Mas, na prática, nunca podemos medir as posições e velocidades iniciais com perfeição. Portanto, surge a pergunta, se as conhecemos com razoável grau de exatidão, também podemos prever com um razoável grau de exatidão como elas se comportarão no futuro? A resposta, normalmente, é que não podemos. A diferença entre a trajetória real e a prevista, calculada com dados ligeiramente inexatos, tende a crescer

exponencial e irregularmente (“caoticamente”) com o tempo, de forma que, depois de um momento, o estado original, um pouco imperfeitamente conhecido, não é guia para o que o sistema está fazendo. A implicação para a previsão por computador é que os movimentos planetários, a epítome da previsibilidade clássica, são sistemas clássicos atípicos. Para prever o que um sistema clássico típico faria depois de um período apenas moderado, teríamos de determinar seu estado inicial com precisão impossivelmente alta. Deste modo, diz-se que, em princípio, o bater de asas de uma borboleta em um hemisfério do planeta poderia causar um furacão no outro hemisfério. A impraticabilidade da previsão do tempo e coisas semelhantes é atribuída à impossibilidade de levar em conta todas as borboletas do planeta.

No entanto, furacões e borboletas verdadeiros obedecem à' teoria quântica, não à mecânica clássica. A instabilidade que rapidamente amplificaria pequenos erros de especificação de um estado inicial clássico simplesmente não é uma característica dos sistemas quânticos. Na mecânica quântica, pequenos desvios de um estado inicial especificado tendem a causar apenas pequenos desvios no estado final previsto. Em vez disso, a previsão exata é dificultada por um efeito bem diferente.

As leis da mecânica quântica exigem que um objeto que esteja inicialmente em dada posição (em todos os universos) “espalhe-se” no sentido de multiverso. Por exemplo, um fóton e suas contrapartes de outros universos partem do mesmo ponto em um filamento brilhante, mas então se movem em trilhões de direções diferentes. Quando mais tarde fazemos uma medição do que aconteceu, também nos tornamos diferenciados à medida que cada cópia de nós vê o que aconteceu no nosso universo particular. Se o objeto em questão for a atmosfera da Terra, um furacão pode ter ocorrido, digamos, em 30% dos universos, e não nos restantes 70%. Subjetivamente, percebemos isso como um resultado único e imprevisível ou “aleatório”, embora, do ponto de vista do multiverso, todos os resultados realmente aconteceram. Essa multiplicidade de universos paralelos é o verdadeiro motivo da imprevisibilidade do clima. A nossa incapacidade em medir as condições iniciais com exatidão é completamente irrelevante. Mesmo se conhecêssemos perfeitamente as condições iniciais, a multiplicidade e, portanto, a imprevisibilidade do movimento permaneceria. Por outro lado, em contraste com o caso clássico, um multiverso imaginário com condições iniciais apenas ligeiramente diferentes não se comportaria de modo muito diferente do multiverso real: poderia sofrer furacões em 30,000001% de seus

universos e não nos restantes 69,999999%.

A batida de asas das borboletas na verdade não causa furacões porque o fenômeno clássico do caos depende de perfeito determinismo, que não se mantém em nenhum universo. Pense em um grupo de universos idênticos no instante em que, em todos eles, as asas de determinada borboleta se movem para cima. Pense em um segundo grupo de universos que, no mesmo instante, são idênticos ao primeiro grupo, exceto que nesses as asas da borboleta estão embaixo. Espere algumas horas. A mecânica quântica prevê que, a não ser que haja circunstâncias excepcionais (como alguém observando a borboleta e pressionando um botão para detonar uma bomba nuclear se ela bater as asas), os dois grupos de universos, quase idênticos a princípio, ainda são quase idênticos. Mas cada grupo, dentro de si mesmo, tornou-se muito diferenciado. Ele inclui universos com furacões, universos sem furacões e até um pequeno número de universos nos quais a borboleta mudou espontaneamente sua espécie por meio de um rearranjo acidental de todos os seus átomos, ou o Sol explodiu porque todos os seus átomos saltaram por acaso para a reação nuclear em seu núcleo. Mesmo assim, os dois grupos ainda se assemelham muito. Nos universos em que a borboleta levantou as asas e ocorreram furacões, os furacões foram realmente imprevisíveis; mas a borboleta não foi responsável de modo causal, pois houve furacões quase idênticos em universos onde tudo mais permanecia igual, mas as asas estavam abaixadas.

Talvez valha a pena enfatizar a distinção entre imprevisibilidade e intratabilidade. Imprevisibilidade não tem nada a ver com os recursos de computação disponíveis. Sistemas clássicos são imprevisíveis (ou seriam, se existissem) por causa da sua sensibilidade a condições iniciais. Sistemas quânticos não têm essa sensibilidade, mas são imprevisíveis porque se comportam de modo diferente em universos diferentes e, portanto, parecem aleatórios na maioria dos universos. Em nenhum dos casos, nenhuma quantidade de computação diminuirá a imprevisibilidade. Ao contrário, a intratabilidade é uma questão de recursos de computação. Refere-se a situações em que conseguiríamos prontamente fazer a previsão se pudéssemos efetuar o cálculo necessário, mas não podemos porque os recursos requeridos são impraticavelmente grandes. Para desembaraçar os problemas da imprevisibilidade dos da intratabilidade na mecânica quântica, temos de considerar os sistemas quânticos que são, em princípio, previsíveis.

A teoria quântica muitas vezes é apresentada como capaz de fazer apenas previsões probabilísticas. Por exemplo, no experimento de

interferência do tipo de barreira perfurada e tela descrito no Capítulo 2, o fóton pode ser observado chegando em qualquer lugar da parte “brilhante” do padrão de sombras. Mas é importante entender que, para muitos outros experimentos, a teoria quântica prevê um único e bem definido resultado. Em outras palavras, ela prediz que todos os universos terminarão com o mesmo resultado, mesmo que estejam diferentes em estágios intermediários do experimento, e prediz qual será o resultado. Nesses casos observamos fenômenos de interferência não aleatórios. Um interferômetro pode demonstrar esses fenômenos. E um instrumento óptico constituído principalmente de espelhos, tanto convencionais (Figura 9-1) quanto semitransparentes (como os usados em truques de ilusionismo e distritos policiais conforme mostrado na Figura 9.2). Se um fóton atingir um espelho semitransparente, em metade dos universos ele será refletido para fora da mesma forma que seria em um espelho convencional. Mas na outra metade ele atravessa o espelho como se não houvesse nada ali.

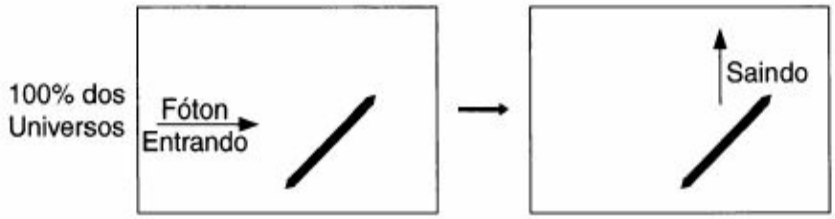


Figura 9.1 *A ação de um espelho normal é a mesma em todos os universos.*

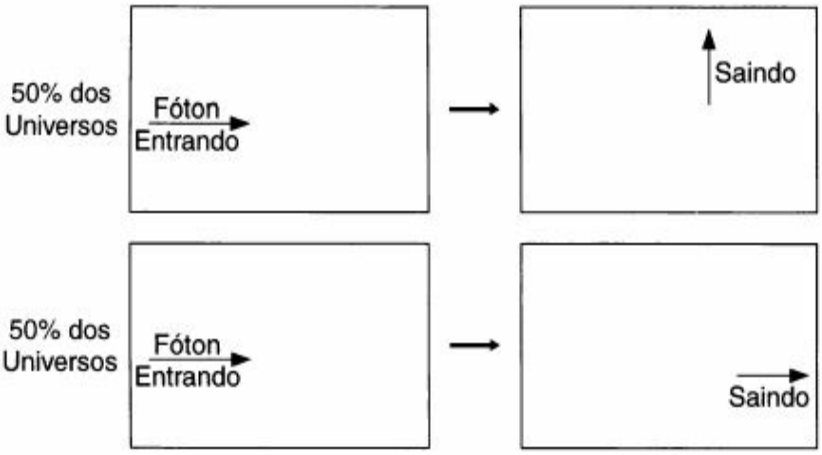


Figura 9.2 *Um espelho semitransparente faz com que universos inicialmente idênticos se diferenciem em dois grupos iguais, que diferem somente no caminho tomado por um único fóton.*

Um único fóton entra no interferômetro no canto superior esquerdo,

como é mostrado na Figura 9.3- Em todos os universos em que é feito o experimento, o fóton e suas contrapartes se deslocam em direção ao interferômetro pelo mesmo caminho. Esses universos são portanto idênticos. Mas tão logo o fóton atinge o espelho semitransparente, os universos inicialmente idênticos tomam-se diferentes. Em metade deles, o fóton atravessa diretamente e viaja ao longo do lado superior do interferômetro. Nos universos restantes, ele reflete no espelho e viaja para o canto inferior esquerdo do interferômetro. As versões do fóton nesses dois grupos de universos atingem e se refletem nos espelhos normais no canto superior direito e inferior esquerdo, respectivamente. Assim eles acabam chegando simultaneamente ao espelho semitransparente no canto inferior direito e interferem um no outro. Lembre-se de que permitimos que apenas um fóton entrasse no aparelho e em cada universo ainda existe somente um fóton. Em todos os universos, esse fóton atingiu o espelho do canto inferior direito. Na metade deles o fóton atingiu o espelho vindo da esquerda e na outra metade vindo de cima. As versões do fóton nesses dois grupos de universos interferem fortemente. O efeito líquido depende da geometria exata da situação, mas a Figura 9.3 mostra que em todos os universos o fóton acaba tomando o caminho que aponta para a direita através do espelho e em nenhum universo ele é transmitido ou refletido para baixo. Nesse caso, todos os universos são idênticos no final do experimento, da mesma forma que eram no início. Eles foram diferenciados e interferiram mutuamente somente durante uma pequena fração de segundo entre o começo e o fim.

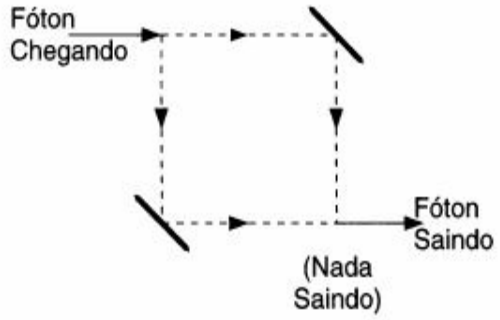


Figura 9.3 *Um único fóton passando por um interferômetro. As posições dos espelhos (espelhos convencionais mostrados em preto e semitransparentes em cinza) podem ser ajustadas de forma que a interferência entre duas versões do fóton (em universos diferentes) faça com que as duas versões tomem a mesma rota de saída a partir do espelho semitransparente de baixo.*

As posições dos espelhos (espelhos convencionais mostrados em preto e semitransparentes em cinza) podem ser ajustadas de forma que a interferência

entre duas versões do fóton (em universos diferentes) faça com que as duas versões tomem a mesma rota de saída a partir do espelho semitransparente de baixo.

Esse notável fenômeno de interferência não aleatória é uma evidência tão inevitável da existência do multiverso quanto o fenômeno das sombras. Pois o resultado que acabei de descrever é incompatível com qualquer um dos dois caminhos possíveis que uma partícula poderia tomar em um único universo. Se, por exemplo, projetarmos um fóton para a direita ao longo do braço inferior do interferômetro, ele poderá atravessar o espelho semitransparente como fez o fóton do experimento de interferência. Mas poderá não atravessar — às vezes ele é defletido para baixo. Do mesmo modo, um fóton projetado para baixo ao longo do braço direito pode ser defletido para a direita, como no experimento de interferência, ou apenas viajar diretamente para baixo. Assim, qualquer que seja o caminho que você estabelecer para um único fóton dentro do aparelho, ele sairá aleatoriamente. Somente quando ocorre interferência entre os dois caminhos o resultado é previsível. Segue-se que o que está presente no aparelho logo antes do final do experimento de interferência não pode ser um único fóton em um único caminho: não pode, por exemplo, ser apenas um fóton viajando no braço inferior. Alguma outra coisa deve estar presente, evitando que ele seja refletido para baixo. Também não pode haver apenas um fóton viajando no braço direito; mais uma vez, deve haver alguma coisa ali, evitando que ele viaje diretamente para baixo, como às vezes faria se estivesse sozinho. Da mesma forma que com as sombras, podemos montar mais experimentos para mostrar que “alguma outra coisa” tem todas as propriedades de um fóton que viaja ao longo do outro caminho e interfere no fóton que vemos, mas em nada mais no nosso universo.

Como existem somente dois tipos diferentes de universo nesse experimento, o cálculo do que acontecerá leva apenas duas vezes mais tempo do que levaria se a partícula obedecesse às leis clássicas — digamos, se estivéssemos calculando o caminho de uma bola de bilhar. Um fator de dois dificilmente tornaria esses cálculos intratáveis. No entanto, já vimos que a multiplicidade de um grau muito maior é relativamente fácil de conseguir. Nos experimentos de sombra, um único fóton passa através de uma barreira com alguns pequenos furos e atinge uma tela. Suponha que existam mil furos na barreira. Há lugares na tela onde o fóton pode incidir (realmente incide em alguns universos) e lugares onde não pode. Para calcular se determinado

ponto da tela pode ou não receber o fóton, devemos calcular os efeitos de interferência mútua das versões de mil universos paralelos do fóton. Especificamente, devemos calcular mil caminhos a partir da barreira para o ponto dado na tela e então calcular os efeitos mútuos desses fótons para determinar se todos eles estão ou não impedidos de chegar àquele ponto. Assim, devemos efetuar aproximadamente mil vezes mais cálculos do que efetuaríamos se estivéssemos verificando se uma partícula clássica atingiria o ponto especificado ou não.

A complexidade desse tipo de cálculo nos mostra que existem muito mais coisas acontecendo em um ambiente quântico do que — literalmente — os olhos podem ver. E argumentei, exprimindo o critério de realidade do Dr. Johnson em termos de complexidade computacional, que essa complexidade é a razão fundamental de não fazer sentido negar a existência do restante do multiverso. Mas são possíveis multiplicidades muito maiores quando há duas ou mais partículas interativas envolvidas em um fenômeno de interferência. Suponha que cada uma de duas partículas interativas tenha mil caminhos abertos para ela. O par pode então estar em um milhão de estados diferentes em um estágio intermediário do experimento, portanto pode haver até um milhão de universos que diferem no que está fazendo esse par de partículas. Se três partículas estivessem interagindo, o número de universos diferentes poderia ser de um bilhão; para quatro, um trilhão; e assim por diante. Assim, o número de histórias diferentes que temos de calcular se quisermos prever o que acontecerá nesses casos aumenta exponencialmente com o número de partículas interativas. Por isso a tarefa de calcular como se comportará um sistema quântico típico é bem e verdadeiramente intratável.

Esta é a intratabilidade que preocupava Feynman. Vemos que ela não tem nada a ver com imprevisibilidade: ao contrário, ela é mais claramente manifestada em fenômenos quânticos altamente previsíveis. Isso porque em tais fenômenos o mesmo resultado definido ocorre em todos os universos, mas isto resulta da interferência entre vastas quantidades de universos que eram diferentes durante o experimento. Tudo isso é, em princípio, previsível pela teoria quântica e não excessivamente sensível às condições iniciais. O que torna difícil prever que em tais experimentos o resultado sempre será o mesmo é que fazer isso exige uma quantidade de computação excessivamente grande.

A intratabilidade é, em princípio, um impedimento maior para a universalidade do que a imprevisibilidade jamais poderia ser. Eu já disse que

uma reprodução perfeitamente exata de uma roleta não precisa — na verdade não deve — dar a mesma sequência de números que uma roleta verdadeira. De modo semelhante, não podemos preparar com antecedência uma reprodução de realidade virtual para o clima de amanhã. Mas podemos (ou, algum dia, seremos capazes de) fazer uma reprodução do clima que, embora não seja o mesmo que as verdadeiras condições climáticas predominantes em um dia histórico qualquer, não obstante, é tão realista em seu comportamento que nenhum usuário, por mais especialista que seja, é capaz de distinguir do clima autêntico. O mesmo vale para qualquer ambiente que não mostre os efeitos da interferência quântica (o que significa a maioria dos ambientes). Reproduzir um ambiente desses em realidade virtual é uma tarefa computacional tratável. No entanto, pareceria que nenhuma reprodução prática é possível para ambientes que mostram os efeitos da interferência quântica. Sem efetuar quantidades exponencialmente grandes de computação, como podemos ter certeza de que nesses casos o nosso ambiente reproduzido não fará coisas que o ambiente real estritamente nunca faz, por causa de algum fenômeno de interferência?

Pareceria natural concluir que a realidade, afinal, não exibe universalidade computacional genuína, porque os fenômenos de interferência não podem ser reproduzidos com utilidade. Feynman, entretanto, corretamente chegou à conclusão oposta! Em vez de considerar a intratabilidade da tarefa de reproduzir fenômenos quânticos como um obstáculo, ele a considerou uma oportunidade. Se ela exige tanto cálculo para resolver o que aconteceria em um experimento de interferência, então o próprio ato de montar esse experimento e medir seu resultado é equivalente a efetuar um cálculo complexo. Assim, Feynman raciocinou, poderia afinal ser possível reproduzir ambientes quânticos com eficiência, desde que fosse permitido ao computador fazer experimentos em um objeto quântico verdadeiro. O computador escolheria quais medições fazer em uma peça de hardware auxiliar à medida que prosseguisse e incorporaria os resultados das medições em seus cálculos.

O hardware quântico auxiliar também seria um computador. Por exemplo, um interferômetro poderia funcionar tal qual esse dispositivo e, como qualquer outro objeto físico, poderia ser encarado como um computador. Atualmente nós o chamaríamos de computador quântico de finalidade especial. Nós o “programamos” configurando os espelhos com certa geometria e projetando um único fóton no primeiro espelho. Em um

experimento de interferência não aleatório, o fóton sempre emerge em dada direção, determinada pela configuração dos espelhos, e poderíamos interpretar essa direção como indicativa do resultado do cálculo. Em um experimento mais complexo, com várias partículas interagindo, esse cálculo poderia facilmente, como expliquei, tornar-se “intratável”. No entanto, desde que podemos obter prontamente seu resultado apenas fazendo o experimento, ele não é realmente intratável. Devemos agora ser mais cuidadosos com nossa terminologia. Evidentemente, existem tarefas computacionais que são “intratáveis” se tentarmos efetuá-las usando qualquer computador existente, mas que seriam tratáveis se usássemos objetos quânticos como computadores de finalidade especial. (Note que o fato de os fenômenos quânticos poderem ser usados para efetuar cálculos desta maneira depende de não estarem sujeitos ao caos. Se o resultado dos cálculos fosse uma função excessivamente sensível do estado inicial, seria impossivelmente difícil “programar” o dispositivo configurando-o com um estado inicial adequado.)

Usar um dispositivo auxiliar quântico desta maneira poderia ser considerado trapaça, pois qualquer ambiente é obviamente muito mais fácil de reproduzir se se tiver acesso a uma cópia de reserva para medir durante a reprodução! Entretanto, Feynman conjeturou que não seria necessário usar uma cópia literal do ambiente a ser reproduzido: seria possível encontrar um dispositivo auxiliar de construção muito mais fácil cujas propriedades de interferência fossem análogas às do ambiente-alvo. Então um computador normal poderia fazer o resto da reprodução, trabalhando com a analogia entre o dispositivo auxiliar e o ambiente-alvo. E Feynman esperava que essa seria uma tarefa tratável. Além disso, ele conjeturou, corretamente como acabou sendo demonstrado, que todas as propriedades mecânicas de qualquer ambiente-alvo poderiam ser simuladas por dispositivos auxiliares de determinado tipo que ele especificou (isto é, um conjunto ordenado de átomos com spin, cada um interagindo com seus vizinhos). Ele chamou toda a classe desses dispositivos de simulador quântico universal.

Mas não era uma máquina única, como deveria ser para se qualificar como um computador universal. As interações que os átomos do simulador teriam de sofrer não poderiam ser fixadas de uma vez por todas, como em um computador universal, mas teriam de ser reformuladas para simular cada ambiente-alvo. O ponto principal da universalidade, contudo, é que deveria ser possível programar uma única máquina, especificada de uma vez por todas, para efetuar qualquer cálculo possível ou reproduzir qualquer ambiente

fisicamente possível. Em 1985 provei que na física quântica existe um computador quântico universal. A prova era razoavelmente direta. Tudo o que eu tinha de fazer era imitar as construções de Turing, mas usando teoria quântica para definir a física subjacente, em vez da mecânica clássica que Turing havia assumindo implicitamente. Um computador quântico universal poderia efetuar qualquer cálculo que qualquer outro computador quântico (ou qualquer computador do tipo de Turing) pudesse realizar, e ele poderia reproduzir qualquer ambiente fisicamente finito possível em realidade virtual. Além disso, desde então foi mostrado que o tempo e outros recursos que seriam necessários para fazer essas coisas não aumentariam exponencialmente com o tamanho ou com o detalhe do ambiente sendo produzido, portanto os cálculos relevantes seriam tratáveis pelos padrões da teoria da complexidade.

A teoria clássica da computação, que foi o fundamento incontestável da computação durante meio século, agora está obsoleta, exceto, como o restante da física clássica, como um esquema de aproximação. A teoria da computação agora é a teoria quântica da computação. Eu disse que Turing tinha usado implicitamente a "mecânica clássica" em sua construção. Mas, com o benefício da percepção tardia, agora pode-mos ver que mesmo a teoria clássica da computação não estava totalmente conforme à física clássica e continha fortes prenúncios da teoria quântica. Não é por coincidência que a palavra bit, que significa a menor quantidade possível de informação que um computador pode manipular, queira dizer essencialmente o mesmo que quantum, um pedaço discreto. Variáveis discretas (que não podem assumir um intervalo continuo de valores) são estranhas à física clássica. Por exemplo, se uma variável tem somente dois valores possíveis, digamos 0 e 1, como ela passa de 0 para 1? (Fiz essa pergunta no Capítulo 2.) Na física clássica ela teria de saltar descontinuamente, o que é incompatível com a maneira de forças e movimentos funcionarem na mecânica clássica. Na física quântica não é necessária nenhuma mudança descontínua, mesmo que todas as quantidades mensuráveis sejam discretas. Ela funciona da maneira descrita a seguir.

Vamos começar imaginando alguns universos paralelos empilhados como um baralho, com o maço como um todo representando o multiverso. (Esse modelo, no qual os universos são arranjados em uma sequência, diminui muito a complexidade do multiverso, mas é suficiente para ilustrar a minha argumentação.) Agora vamos alterar o modelo para levar em conta o

fato de que o multiverso não é um conjunto discreto de universos, mas um contínuo, e de que nem todos os universos são diferentes. Na verdade, para cada universo que está presente aqui há também um contínuo de universos idênticos presentes, abrangendo certa porção muito pequena mas diferente de zero do multiverso. No nosso modelo, essa porcentagem pode ser representada pela espessura de uma carta, em que cada carta agora representa todos os universos de determinado tipo. Entretanto, ao contrário da espessura de uma carta, a proporção de cada tipo de universo muda com o tempo sob as leis do movimento da mecânica quântica. Consequentemente, a porção de universos que têm determinada propriedade também muda e muda continuamente. No caso de uma variável discreta mudando de 0 para 1, suponha que a variável tenha o valor 0 em todos os universos antes de começar a mudança, e depois da mudança tenha o valor 1 em todos os universos. Durante a mudança, a proporção de universos em que o valor é 0 cai suavemente de 100% para zero, e a proporção em que o valor é 1 aumenta de forma correspondente de zero para 100%. A Figura 9-4 mostra uma visão de multiverso dessa mudança.

Na Figura 9-4 pode parecer que, embora a transição de 0 para 1 seja objetivamente contínua da perspectiva de multiverso, ela permanece subjetivamente descontínua do ponto de vista de qualquer universo individual, como é representado, digamos, por uma linha horizontal a meio caminho da altura na Figura 9-4. No entanto, isso é meramente uma limitação do diagrama, e não uma característica real do que está acontecendo. Embora o diagrama faça parecer que a cada instante existe determinado universo que "acabou de mudar" de 0 para 1 porque acabou de "cruzar o limite", isso não é verdadeiro. Não pode ser, porque esse universo é estritamente idêntico a qualquer outro em que o bit tem o valor 1 nesse momento. Deste modo, se os habitantes de um deles estivesse experimentando uma mudança descontínua, o mesmo aconteceria com os habitantes de todos os outros. Portanto, nenhum deles pode ter essa experiência. Note também que, como explicarei no Capítulo 11, a ideia de qualquer coisa movendo-se através de um diagrama como o da Figura 9-4, no qual o tempo já está representado, é simplesmente um erro. A cada instante o bit tem o valor Tempo 1 em certa porcentagem de universos e 0 em outra. Todos esses universos, durante todos esses tempos, já são mostrados na Figura 9-4. Eles não estão indo para lugar nenhum!

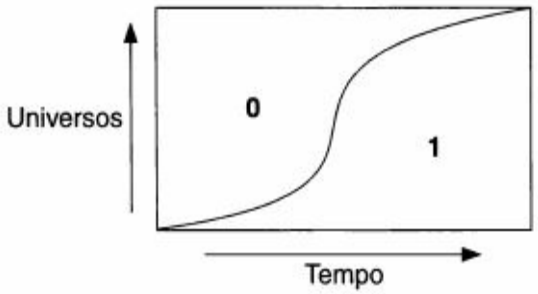


Figura 9.4 *Visão de multiverso de como um bit muda continuamente de 0 para 1.*

Outra maneira pela qual a física quântica está implícita na computação clássica é que todas as implementações práticas de computadores do tipo Turing dependem de coisas como matéria sólida ou materiais magnetizados, que não poderiam existir na ausência de efeitos quânticos. Por exemplo, qualquer corpo sólido consiste em um agrupamento de átomos, os quais são compostos de partículas eletricamente carregadas (elétrons e prótons no núcleo). Mas, em razão do caos clássico, nenhum agrupamento de partículas carregadas poderia ser estável sob as leis clássicas do movimento. As partículas carregadas positivamente e negativamente simplesmente sairiam da posição e colidiriam entre si, e a estrutura se desintegraria. É somente a forte interferência quântica entre as várias trajetórias tomadas por partículas carregadas em universos paralelos que impede essas catástrofes e torna possível a matéria sólida.

Construir um computador quântico universal está bem além da tecnologia atual. Como eu disse, detectar um fenômeno de interferência sempre depende de configurar uma interação apropriada entre todas as variáveis que têm sido diferentes nos universos que contribuem para a interferência. Portanto, quanto mais partículas interativas estão envolvidas, mais difícil tende a ser criar a interação que exibiria a interferência, isto é, o resultado do cálculo. Entre as muitas dificuldades técnicas de trabalhar no nível de um só átomo ou elétron, uma das mais importantes é a de impedir que o ambiente seja afetado pelas diferentes subcomputações interferentes. Pois se um grupo de átomos está sofrendo um fenômeno de interferência e eles afetam diferencialmente outros átomos do ambiente, a interferência não poderá mais ser detectada por medições apenas do grupo original, e o grupo não estará mais executando nenhuma computação quântica útil. Isso é chamado decoerência. Devo acrescentar que este problema é muitas vezes apresentado de forma inversa: dizem-nos que “a interferência quântica é um processo muito delicado e deve ser protegido contra todas as influências

externas”. Isso está errado. Influências externas poderiam causar pequenas imperfeições, mas é o efeito da computação quântica sobre o mundo exterior que causa a decoerência.

Assim, está acontecendo a corrida para construir sistemas submicroscópicos nos quais variáveis que carregam informações interagem entre si, mas afetam seu ambiente o mínimo possível. Outra simplificação recente, exclusiva da teoria quântica da computação, compensa parcialmente as dificuldades causadas pela decoerência. O resultado é que, ao contrário da computação clássica, onde se precisa construir elementos lógicos clássicos específicos, como E, OU e NÃO, a forma precisa das interações dificilmente tem importância no caso quântico. Virtualmente qualquer sistema em escala atômica de bits interativos, desde que não haja decoerência, poderia ser utilizado para efetuar cálculos quânticos.

Fenômenos de interferência que envolvem grande número de partículas, como a supercondutividade e a superfluidez, são conhecidos, mas parece que nenhum deles pode ser usado para efetuar cálculos importantes. Quando este livro foi escrito, somente a computação quântica de um único bit podia ser efetuada facilmente em laboratório. No entanto, os experimentalistas estão confiantes de que portas quânticas (o equivalente quântico dos elementos lógicos clássicos) de dois ou mais bits serão construídas nos próximos anos. Estes são os componentes básicos dos computadores quânticos. Alguns físicos, principalmente Rolf Landauer, da IBM Research, são pessimistas quanto à perspectiva de outros avanços depois disso. Eles acreditam que a decoerência nunca será reduzida a ponto de poderem ser executados mais de alguns passos consecutivos de computação quântica. A maioria dos pesquisadores do campo é muito mais otimista (talvez porque só os pesquisadores otimistas escolhem trabalhar em computação quântica!). Já foram construídos alguns computadores quânticos de finalidade especial (veja abaixo) e, na minha opinião, computadores mais complexos aparecerão em alguns anos em vez de décadas. Quanto ao computador quântico universal, espero que sua construção também seja uma questão de tempo, no entanto eu não gostaria de prever se esse tempo será de décadas ou séculos.

O fato de o repertório do computador quântico universal conter ambientes cuja reprodução é classicamente intratável implica que novas classes de computações puramente matemáticas devem se tornar tratáveis também. Pois, como disse Galileu, as leis da física são expressas em linguagem matemática e reproduzir um ambiente é equivalente a avaliar

certas funções matemáticas. E realmente foram descobertas muitas tarefas matemáticas que poderiam ser executadas por computação quântica com eficiência, quando todos os métodos clássicos são intratáveis. A mais espetacular dessas tarefas é a fatoração de números grandes. O método, conhecido como algoritmo de Shor, foi descoberto em 1994 por Peter Shor do Laboratório Bell. (Enquanto este livro estava sendo revisado, foram descobertos outros algoritmos quânticos espetaculares, incluindo o algoritmo de Grover para pesquisar longas listas rapidamente.)

O algoritmo de Shor é extraordinariamente simples e exige hardware muito mais modesto do que seria necessário para um computador quântico universal. Portanto, é provável que se construa uma máquina de fatoração quântica muito antes que toda a extensão das computações quânticas seja tecnologicamente exequível. Esta é uma perspectiva de grande significado para a criptografia (a ciência da comunicação e autenticação de informações com segurança). Redes de comunicação realistas podem ser globais e ter grandes conjuntos de participantes que mudam constantemente com padrões imprevisíveis de comunicação. Não é prático exigir que cada par de participantes, fisicamente e com antecedência, troque as chaves criptográficas secretas que permitiriam que eles mais tarde se comunicassem sem temer escutas clandestinas. Criptografia de chave pública é qualquer método de envio de informações secretas em que o remetente e o destinatário ainda não compartilham informações secretas. O método mais seguro de criptografia de chave pública conhecido depende da intratabilidade do problema da fatoração de números grandes. Esse método é conhecido como criptossistema RSA, em homenagem a Ronald Rivest, Adi Shamir e Leonard Adelman, que foram os primeiros a propô-lo em 1978. Ele depende de um procedimento matemático com o qual uma mensagem pode ser codificada usando-se um número grande (digamos, de 250 algarismos) como chave. O destinatário pode tornar pública essa chave livremente porque qualquer mensagem codificada com ela só pode ser decodificada com conhecimento dos fatores do número. Assim, posso escolher dois números primos de 125 algarismos e mantê-los em segredo, mas multiplicá-los e tornar público seu produto de 250 algarismos. Qualquer um pode me enviar uma mensagem usando esse número como chave, mas só eu posso ler as mensagens porque só eu conheço os fatores secretos.

Como eu disse, não existe perspectiva prática de fatorar números de 250 dígitos empregando meios clássicos. Mas uma máquina de fatoração quântica

executando o algoritmo de Shor poderia fazê-lo usando apenas alguns milhares de operações aritméticas, o que poderia levar apenas alguns minutos. Desta forma, qualquer um com acesso a tal máquina seria capaz de ler facilmente qualquer mensagem interceptada que tivesse sido criptografada com o criptossistema RSA.

Seria inútil para os criptógrafos escolher números maiores como chaves, porque os recursos necessários para o algoritmo de Shor aumentam lentamente com o tamanho do número fatorado. Na teoria quântica da computação, a fatoração é uma tarefa muito tratável. Acredita-se que, na presença de dado nível de decoerência, haveria novamente um limite prático para o tamanho do número que poderia ser fatorado, mas não existe limite inferior conhecido para a taxa de decoerência que pode ser tecnologicamente alcançada. Portanto, devemos concluir que um dia, em uma época que não pode ser prevista, o criptossistema RSA com qualquer tamanho de chave poderá se tornar inseguro. Em certo sentido, isso o torna inseguro hoje mesmo. Pois qualquer um, ou qualquer organização, que registre uma mensagem criptografada pelo sistema RSA hoje e espere até que possa comprar uma máquina de fatoração quântica com decoerência suficientemente baixa, poderá decodificar a mensagem. Isso pode não acontecer por séculos, ou pode acontecer em décadas — talvez menos, quem sabe? Mas a probabilidade de ser um tempo muito longo é o que resta agora da antiga segurança total do sistema RSA.

Quando uma máquina de fatoração quântica fatora um número de 250 dígitos, o número de universos interferentes é da ordem de dez elevado à potência 500. Esse número estonteante é o motivo pelo qual o algoritmo de Shor torna a fatoração tratável. Eu disse que o algoritmo requer apenas alguns milhares de operações aritméticas. Naturalmente quis dizer alguns milhares de operações em cada universo que contribui para a resposta. Todos esses cálculos são feitos em paralelo, em universos diferentes, e compartilham os resultados por meio da interferência.

Você deve estar se perguntando como podemos persuadir nossas contrapartes em 10 elevado a 500 universos a começar a trabalhar na nossa tarefa de fatoração. Eles não terão seus próprios programas de trabalho para a utilização dos seus computadores? Não, e não é necessária nenhuma persuasão. O algoritmo de Shor opera inicialmente apenas em um conjunto de universos que são idênticos entre si e faz com que sejam diferenciados apenas dentro dos limites da máquina de fatoração. Portanto nós, que

especificarmos o número a ser fatorado e esperamos enquanto a resposta é calculada, somos idênticos em todos os universos interferentes. Sem dúvida existem muitos outros universos nos quais programamos números diferentes ou nunca construímos a máquina de fatoração. Mas esses universos diferem do nosso em muitas variáveis — ou, mais precisamente, em variáveis que não forçadas a interagir da maneira certa pela programação do algoritmo de Shor — e, portanto, não interferem no nosso universo.

O argumento do Capítulo 2, aplicado a qualquer fenômeno de interferência, destrói a ideia clássica de que existe somente um universo. Logicamente, a possibilidade de computações quânticas complexas não acrescenta nada a um caso que já não tem resposta. Mas acrescenta um impacto psicológico. Com o algoritmo de Shor, o argumento tem muito maior escala. Para os que ainda se apegam a uma visão de mundo de um só universo, lanço este desafio: explique como funciona o algoritmo de Shor. Não quero dizer simplesmente prever que ele funcionará, o que é meramente uma questão de solucionar algumas equações indiscutíveis. Quero dizer fornecer uma explicação. Quando o algoritmo de Shor tiver fatorado um número, usando aproximadamente IO500 vezes os recursos de computação que podem ser vistos, onde o número foi fatorado? Existem apenas cerca de IO80 átomos em todo o universo visível, um número absolutamente minúsculo quando comparado a IO500. Portanto, se o universo visível tivesse a extensão da realidade física, essa realidade nem remotamente conteria os recursos necessários para fatorar um número tão grande. Quem o fatorou então? Como e quando foi executado o cálculo?

Tenho discutido os tipos tradicionais de tarefa matemática que os computadores quânticos seriam capazes de executar mais rapidamente do que as máquinas existentes. Mas há uma classe adicional de novas tarefas abertas a computadores quânticos que nenhum computador clássico poderia executar. Por uma estranha coincidência, uma das primeiras dessas tarefas a ser descoberta também diz respeito à criptografia de chave pública. Desta vez não é uma questão de decifrar um sistema existente, mas de implementar um sistema novo e absolutamente seguro de criptografia quântica.

Em 1989, no IBM Research, em Yorktown Heights, Nova York, no escritório do teórico Charles Bennet, foi construído o primeiro computador quântico. Era um computador quântico de finalidade especial constituído de um par de dispositivos criptográficos quânticos projetados por Bennet e Gilles Brassard, da Universidade de Montreal. Ele se tornou a primeira

máquina a efetuar cálculos não triviais que nenhuma máquina de Turing poderia executar.

No criptossistema quântico de Bennet e Brassard, as mensagens são codificadas nos estados de fótons individuais emitidos por um laser. Embora sejam necessários muitos fótons para transmitir uma mensagem (um fóton por bit, mais muitos outros desperdiçados em várias ineficiências), as máquinas podem ser construídas com a tecnologia existente porque precisam executar as computações quânticas apenas em um fóton de cada vez. A segurança do sistema é baseada não na intratabilidade, clássica ou quântica, mas diretamente nas propriedades da interferência quântica: é isso o que lhe dá a segurança absoluta que não pode ser obtida classicamente. Nenhuma quantidade de cálculos futuros feitos por nenhum tipo de computador, seja durante milhões ou trilhões de anos, seria de grande ajuda para um escuta clandestino de mensagens quantum criptografadas: pois se alguém se comunica através de um meio que exibe interferência, pode detectar escutas clandestinos. De acordo com a física clássica, não existe nada que possa impedir um escuta clandestino que tem acesso físico a um meio de comunicação, como uma linha telefônica, de instalar um dispositivo de escuta passivo. Mas, como expliquei, se se fizer qualquer medição em um sistema quântico, alteram-se suas propriedades de interferência subsequentes. O protocolo de comunicação depende desse efeito. As partes comunicantes efetivamente configuram repetidos experimentos de interferência, coordenando-os em um canal de comunicação público. Somente se a interferência passar pelo teste de não haver escuta clandestino eles passarão para o estágio seguinte do protocolo, que é usar um pouco da informação transmitida como chave de criptografia. No pior, um escuta persistente poderia impedir a ocorrência de qualquer comunicação (embora seja claro que isso pode ser feito mais facilmente cortando a linha telefônica). Mas, quanto a ler uma mensagem, somente o destinatário pretendido pode fazê-lo, e a garantia disso é dada pelas leis da física.

Como a criptografia quântica depende da manipulação de fótons individuais, ela sofre grande limitação. Cada fóton que é recebido com sucesso carregando um bit da mensagem deve, de alguma forma, ter sido transmitido intacto do transmissor para o receptor. Mas todos os métodos de transmissão têm perdas e, se essas perdas forem muito grandes, a mensagem nunca chegará. A criação de estações de retransmissão (o remédio para esse problema em sistemas de comunicação existentes) comprometeria a

segurança, porque um escuta clandestino poderia monitorar o que acontece na estação sem ser detectado. Os melhores sistemas quantum criptográficos usam cabos de fibra óptica e têm alcance de cerca de dez quilômetros. Isso seria suficiente para prouver, digamos, o distrito financeiro de uma cidade com comunicações internas absolutamente seguras. Sistemas comercializáveis podem não estar muito distantes, mas para solucionar o problema da criptografia de chave pública em geral — para comunicações globais, por exemplo — são necessários mais avanços da criptografia quântica.

Pesquisas experimentais e teóricas no campo da computação quântica estão se acelerando no mundo todo. Estão sendo propostas novas tecnologias mais promissoras para realizar computadores quânticos, e novos tipos de computação quântica com várias vantagens sobre a computação clássica estão continuamente sendo descobertos e analisados. Considero esses desenvolvimentos muito excitantes e acredito que alguns deles darão frutos tecnológicos. Mas no que diz respeito a este livro, essa é uma questão paralela. De um ponto de vista fundamental, não importa quão útil venha a ser a computação quântica, nem se construiremos o primeiro computador quântico universal na semana que vem ou daqui a séculos ou nunca. A teoria quântica da computação deve ser, em qualquer caso, parte integral da visão de mundo de qualquer um que busque um entendimento fundamental da realidade. O que os computadores quânticos nos dizem sobre conexões entre as leis da física, universalidade e elementos de explicação aparentemente não relacionados da estrutura da realidade, podemos descobrir — e já estamos descobrindo — estudando-os teoricamente.

Terminologia Empregada no Capítulo

Computação quântica — Computação que requer processos quânticos, principalmente a interferência. Em outras palavras, computação que é executada com a colaboração entre universos paralelos.

Computação exponencial — Uma computação cujos requisitos de recursos (como o tempo requerido) aumentam por um fator aproximadamente constante para cada dígito adicional na entrada.

Tratável/intratável — (Regra prática:) Uma tarefa computacional é considerada tratável se os recursos necessários para executá-la não aumentam exponencialmente com o número de dígitos da entrada.

Caos — A instabilidade do movimento da maioria dos sistemas clássicos. Uma pequena diferença entre dois estados iniciais dá origem a

desvios exponencialmente crescentes entre as duas trajetórias resultantes. Mas a realidade obedece à física quântica e não à física clássica. A imprevisibilidade causada pelo caos é, em geral, submergida pela indeterminação quântica causada por universos idênticos tornando-se diferentes.

Computador quântico universal — Um computador que poderia efetuar qualquer cálculo que qualquer outro computador quântico poderia executar e reproduzir qualquer ambiente finito e fisicamente possível em realidade virtual.

Criptografia quântica — Qualquer forma de criptografia que pode ser feita por computadores quânticos, mas não por computadores clássicos.

Computador quântico de finalidade especial — Um computador quântico, como um dispositivo criptográfico quântico ou máquina de fatoração quântica, que não é um computador quântico universal.

Decoerência — Se ramos diferentes de um cálculo quântico em universos diferentes afetam o ambiente de maneira diferente, a interferência é reduzida, e o cálculo pode falhar. A decoerência é o principal obstáculo para a realização prática de computadores quânticos mais poderosos.

Resumo

As leis da física permitem a existência de computadores que podem reproduzir todos os ambientes fisicamente possíveis sem usar recursos impraticavelmente grandes. Portando, a computação universal não é meramente possível, como exigido pelo princípio de Turing, ela é também tratável. Fenômenos quânticos podem envolver vasto número de universos paralelos e portanto podem não ser capazes de ser simulados com eficiência em um universo. No entanto, essa forma forte de universalidade ainda se mantém porque os computadores quânticos podem reproduzir com eficiência todos os ambiente quânticos fisicamente possíveis, mesmo quando grande número de universos está interagindo. Computadores quânticos podem também solucionar com eficiência certos problemas matemáticos, como a fatoração, classicamente intratáveis, e podem implementar tipos de criptografia classicamente impossíveis. A computação quântica é uma maneira qualitativamente nova de utilizar a natureza.

O capítulo seguinte provavelmente provocará muitos matemáticos. Isso não pode ser evitado. A matemática não é o que eles pensam que é.

(Leitores não familiarizados com as suposições tradicionais sobre a certeza do conhecimento matemático podem achar que a principal conclusão

do capítulo — que o nosso conhecimento da verdade matemática depende de, e não é mais confiável que, nosso conhecimento do mundo físico — é óbvia. Esses leitores podem preferir passar os olhos nesse capítulo e correr para a discussão sobre o tempo no Capítulo 11).

10 A Natureza da Matemática

A “estrutura da realidade” que tenho descrito até agora é a estrutura da realidade física. No entanto, também me referi livremente a entidades que não podem ser encontradas em nenhum lugar do mundo físico — abstrações, como números e conjuntos infinitos de programas de computador. Também as próprias leis da física não são entidades físicas no sentido em que são rochas e planetas. Como eu disse, o “Livro da Natureza” de Galileu é apenas uma metáfora. E há as ficções da realidade virtual, os ambientes que não existem e cujas leis diferem das verdadeiras leis da física. Além disso, há o que chamei de ambientes “Cantgotu”, que nem ao menos podem ser reproduzidos em realidade virtual. Eu disse que existem infinitos deles para cada ambiente que pode ser reproduzido. Mas o que significa dizer que esses ambientes “existem”? Se eles não existem na realidade, ou mesmo na realidade virtual, onde eles existem?

Existem entidades abstratas não físicas? Elas são parte da estrutura da realidade? Não estou interessado aqui em meras questões de emprego de palavras. É óbvio que números, leis da física e assim por diante “existem” em alguns sentidos e não em outros. A questão substantiva é esta: como devemos entender essas entidades? Quais delas são meramente formas convenientes de palavras, referindo-se fundamentalmente apenas à realidade física comum? Quais são meramente características efêmeras da nossa cultura? Quais são arbitrárias, como as regras de um jogo trivial que precisamos apenas procurar? E quais, se é que há alguma, só podem ser explicadas de um modo que lhes atribui existência independente? Coisas deste último tipo têm de ser parte da estrutura da realidade como é definida neste livro, porque precisaríamos entendê-las para compreender tudo o que é entendido.

Isto sugere que devemos aplicar o critério do Dr. Johnson mais uma vez. Se quisermos saber se uma dada abstração realmente existe, devemos perguntar se ela “chuta de volta” de maneira complexa e autônoma. Por exemplo, os matemáticos caracterizam os “números naturais” 1, 2, 3... em primeiro lugar por meio de uma definição precisa, como: 1 é um número natural. Cada número natural tem precisamente um sucessor, que também é um número natural. 1 não é sucessor de nenhum número natural. Dois números naturais com o mesmo sucessor são iguais.

Essas definições são tentativas de exprimir abstratamente a noção física

intuitiva de sucessivos valores de uma quantidade discreta. (Mais precisamente, como expliquei no capítulo anterior, essa noção é realmente quântica.) As operações aritméticas, como multiplicação e adição, e outros conceitos, como o de número primo, são então definidos com referência aos "números naturais". Mas tendo criado "números naturais" abstratos por meio dessa definição e tendo entendido esses números por meio dessa intuição, descobrimos que existem muito mais coisas sobre eles que ainda não entendermos. A definição de um número primo determina de uma vez por todas quais números são primos e quais não são. Mas o entendimento de quais números são primos — por exemplo, como os números primos são distribuídos em escalas muito grandes, quão acumulados são, quão "aleatórios" são e por que — envolve uma profusão de novas percepções e novas explicações. Na verdade, disso resulta que a teoria dos números é um mundo inteiro (o termo é usado com frequência) em si mesmo. Para entender mais completamente os números, precisamos definir muitas classes novas de entidades abstratas e postular muitas estruturas e conexões entre essas estruturas. Descobrimos que algumas dessas estruturas abstratas estão relacionadas com outras intuições que já possuíamos, as quais, apesar de tudo, não tinham nada a ver com números, como simetria, rotação, continuo, conjuntos, infinidade e muitas mais. Assim, as entidades matemáticas abstratas com as quais achamos que estamos familiarizados podem todavia nos surpreender ou nos desapontar. Podem surgir inesperadamente com novas aparências ou disfarces. Podem ser inexplicáveis e mais tarde estar de acordo com uma nova explicação. Deste modo, elas são complexas e autônomas e, portanto, de acordo com o critério do Dr. Johnson, devemos concluir que são reais. Já que não podemos entendê-las como parte de nós mesmos ou como parte de alguma outra coisa que já entendermos, mas podemos entendê-las como entidades independentes, devemos concluir que elas são entidades reais e independentes.

Não obstante, as entidades abstratas são intangíveis. Elas não chutam de volta fisicamente, no sentido em que uma pedra reage; portanto experimento e observação não podem desempenhar na matemática o mesmo papel que desempenham na ciência. Na matemática esse papel pertence à prova. A pedra do Dr. Johnson chutou de volta fazendo seu pé ricochetear. Números primos chutam de volta quando provamos alguma coisa inesperada sobre eles, principalmente se pudermos também explicá-la. Na visão tradicional, a diferença crucial entre prova e experimento é que uma prova não faz

referência ao mundo físico. Podemos fazer uma prova na privacidade da nossa própria mente ou presos em um gerador de realidade virtual reproduzindo a física errada. Contanto que apenas sigamos as regras da inferência matemática, devemos obter a mesma resposta que qualquer outra pessoa. E, mais uma vez, a visão predominante é que, afora a possibilidade de cometermos erros grosseiros, quando provamos alguma coisa, sabemos com absoluta certeza que ela é verdadeira.

Os matemáticos têm muito orgulho dessa certeza absoluta, e os cientistas tendem a ter um pouco de inveja. Pois em ciência não existe como ter certeza de qualquer proposição. Não importa quão bem as teorias de alguém expliquem observações existentes, a qualquer momento alguém pode fazer uma observação nova e inexplicável que lance dúvidas sobre o todo da estrutura explicativa atual. O pior é que alguém pode chegar a um entendimento melhor que explique não somente todas as observações existentes, mas também por que as explicações anteriores pareciam funcionar, mas, no entanto, estão completamente erradas. Galileu, por exemplo, descobriu uma nova explicação para a antiquíssima observação de que o chão sob nossos pés está em repouso, uma explicação que implicava o fato de o solo estar realmente se movendo. A realidade virtual — que pode fazer com que um ambiente pareça ser outro — salienta o fato de que, quando a observação é o árbitro definitivo entre teorias, nunca pode haver certeza de que uma explicação existente, por mais óbvia que seja, seja ao menos remotamente verdadeira. Mas quando o árbitro é a prova, supõe-se que pode haver certeza.

Diz-se que as regras da lógica foram formuladas pela primeira vez na esperança de que proporcionariam um método imparcial e infalível de resolver todas as disputas. Essa esperança nunca pode ser satisfeita. O próprio estudo da lógica revelou que o alcance da dedução lógica como meio de descobrir a verdade é severamente limitado. Dadas suposições substantivas sobre o mundo, podem-se deduzir conclusões; mas as conclusões não são mais seguras do que as suposições. As únicas proposições que a lógica pode provar sem recorrer a suposições são tautologias — declarações como “todos os planetas são planetas”, que não dizem nada. Em particular, todas as questões substantivas da ciência estão fora do domínio em que a lógica sozinha pode resolver disputas. Mas a matemática, supostamente, está dentro desse domínio. Assim, os matemáticos buscam a verdade absoluta mas abstrata, ao passo que os cientistas se consolam com o pensamento de que

podem obter conhecimento substantivo e útil sobre o mundo físico. Mas eles devem aceitar que esse conhecimento não tem garantias. Ele é sempre uma tentativa, sempre falível. A ideia de que a ciência é caracterizada pela “indução”, um método de justificação que supostamente deve ser um análogo ligeiramente falível da dedução lógica, é uma tentativa de fazer o melhor possível desse “status” percebido de segunda classe do conhecimento científico. Em vez de certezas justificadas dedutivamente, talvez possamos conseguir com quase certezas justificadas indutivamente.

Como eu disse, não existe esse método de justificação chamado “indução”. A ideia de raciocinar em direção à “quase certeza” em ciência é um mito. Como posso provar com “quase certeza” que uma nova e maravilhosa teoria da física, que dá uma reviravolta nas minhas mais inquestionáveis suposições sobre a realidade, não será publicada amanhã? Ou que não estou dentro de um gerador de realidade virtual? Mas tudo isso não é para dizer que o conhecimento científico é na verdade de “segunda classe”. Porque a ideia de que a matemática gera certezas também é um mito.

Desde os tempos antigos, a ideia de que o conhecimento matemático tem “status” privilegiado muitas vezes foi associada à ideia de que pelo menos algumas entidades abstratas não são meramente parte da estrutura da realidade, mas são ainda mais reais do que o mundo físico. Pitágoras acreditava que as regularidades da natureza eram a expressão das relações matemáticas entre os números naturais. “Todas as coisas são números” era o lema. Isso não tinha significado literal, mas Platão foi mais longe e efetivamente negou que o mundo físico fosse real. Ele considerava as nossas experiências aparentes do mundo como sem valor ou enganosas e argumentava que os objetos e fenômenos físicos que percebemos são meramente “sombras” ou imitações imperfeitas de suas essências ideais (“Formas” ou “Ideias”) que existem em um reino separado que é a verdadeira realidade. Nesse reino existem, entre outras coisas, as Formas de números puros, como 1, 2, 3... e as Formas das operações matemáticas, como adição e multiplicação. Podemos perceber algumas sombras dessas Formas, como quando colocamos uma maçã sobre a mesa, depois outra maçã, e então vemos que há duas maçãs. Mas as maçãs exibem “unidade" e “dualidade” (e, no que diz respeito ao assunto, “maçãdade") apenas imperfeitamente. Elas não são perfeitamente idênticas, portanto nunca há realmente duas de qualquer coisa sobre a mesa. poderia ser contraposto que o número dois poderia também ser representado por haver duas coisas diferentes na mesa.

Mas essa representação ainda é imperfeita, porque devemos então admitir que sobre a mesa há células que caíram das maçãs, assim como poeira e ar sobre a mesa. Ao contrário de Pitágoras, Platão não tinha interesse pessoal em números naturais. Sua realidade continha as Formas de todos os conceitos. Por exemplo, continha a Forma de um círculo perfeito. Os "círculos" que percebemos nunca são realmente círculos. Eles não são perfeitamente redondos, nem perfeitamente planos, têm uma espessura finita e assim por diante. Todos eles são imperfeitos.

Platão apresentou um problema. Dada toda essa imperfeição terrena (e, ele poderia ter acrescentado, dado o nosso acesso sensorial imperfeito até mesmo aos círculos terrenos), como podemos saber o que sabemos sobre círculos reais e perfeitos? Evidentemente, nós sabemos sobre eles, mas como? De onde Euclides obteve o conhecimento de geometria que manifestou em seus famosos axiomas, quando não estavam disponíveis para ele autênticos círculos. Dontos ou linhas retas? De onde vem a certeza de uma prova matemática, se ninguém pode perceber as entidades abstratas às quais ela se refere? A resposta de Platão era que não obtemos nosso conhecimento destas coisas a partir deste mundo de sombra e ilusão. Em vez disso, nós o obtemos diretamente do próprio mundo real das Formas. Temos perfeito conhecimento inato desse mundo que é, como ele sugere, esquecido no nascimento e depois obscurecido por camadas de erros causados pela confiança nos nossos sentidos. Mas a realidade pode ser lembrada por meio da aplicação diligente da "razão", que produz a certeza absoluta que a experiência nunca pode proporcionar.

Eu me pergunto se alguém alguma vez acreditou nessa fantasia tão débil (incluindo o próprio Platão, que, afinal, era um filósofo muito competente que cria em contar mentiras enobrecedoras para o público). Entretanto, o problema que ele apresentou — de como podemos ter conhecimento, para não dizer certeza, das entidades abstratas — é bastante real e alguns elementos da solução proposta por ele têm sido parte da teoria dominante do conhecimento desde então. Particularmente, a ideia central de que os conhecimentos matemático e científico vêm de fontes diferentes, e de que a fonte "especial" da matemática confere certeza absoluta sobre ela, é até hoje aceita sem críticas por virtualmente todos os matemáticos. Hoje em dia eles chamam essa fonte de intuição matemática, mas ela desempenha exatamente o mesmo papel das "memórias" do reino das Formas de Platão.

Têm ocorrido amargas controvérsias sobre precisamente que tipos de

conhecimento perfeitamente confiável a nossa intuição matemática pode esperar revelar. Em outras palavras, os matemáticos concordam que a intuição matemática é uma fonte de certeza absoluta, mas não conseguem concordar sobre o que a intuição matemática lhes diz! Obviamente, essa é uma receita para infinitas e insolúveis controvérsias.

Inevitavelmente, a maioria dessas controvérsias se centrou na validade ou não de vários métodos de prova. Uma controvérsia se relacionou aos assim chamados números "imaginários". Um número imaginário é a raiz quadrada de um número negativo. Novos teoremas sobre números "reais" comuns foram provados utilizando, em estágios intermediários de uma prova, as propriedades dos números imaginários. Por exemplo, os primeiros teoremas sobre a distribuição de números primos foram provados dessa forma. Mas alguns matemáticos fizeram objeção aos números imaginários tomando por base que eles não eram reais. (A terminologia atual ainda reflete a velha controvérsia, se bem que agora achamos que os números imaginários são tão reais quanto os números "reais".) Espero que seus professores tenham dito que não lhes era permitido extrair a raiz quadrada de menos um e, Consequentemente, eles não viam por que era permitido a qualquer outra pessoa fazer isso. Sem dúvida eles chamaram esse impulso pouco generoso de "intuição matemática". Mas outros matemáticos tinham intuições diferentes. Eles entenderam o que eram números imaginários e como eles se adaptavam aos números reais. Por que, pensavam eles, alguém não deveria definir novas entidades abstratas como tendo quaisquer propriedades que quisesse? Certamente, a única base legítima para proibir isso seria que as propriedades requeridas fossem logicamente inconsistentes. (Esse é essencialmente o consenso moderno a que o matemático John Horton Conway se referiu enfaticamente como o "Movimento de Liberação dos Matemáticos".) Reconhecidamente, ninguém tinha provado que o sistema de números imaginários era autoconsistente. Mas também ninguém havia provado que a aritmética comum dos números naturais era autoconsistente.

Houve controvérsias semelhantes sobre a validade do emprego de números infinitos, dos conjuntos que continham infinitos elementos e das quantidades infinitesimais que foram usadas no cálculo. David Hilbert, o grande matemático alemão que forneceu muito da infraestrutura matemática da teoria da relatividade geral e da teoria quântica, observou que "a literatura da matemática está saturada de futilidades e absurdos que tiveram origem no infinito". Alguns matemáticos, como veremos, negaram completamente a

validade do raciocínio sobre entidades infinitas. O sucesso descontrolado da matemática pura durante o século XIX pouco fez para resolver essas controvérsias. Ao contrário, ele tendeu a intensificá-las e a criar novas controvérsias. À medida que o raciocínio matemático se tornou mais sofisticado, inevitavelmente se afastou ainda mais da intuição comum, e isso teve dois importantes efeitos opostos. Primeiro, os matemáticos tornaram-se mais meticulosos quanto a provas, que eram submetidas a padrões cada vez mais rigorosos antes de serem aceitas. Segundo, foram inventados métodos mais poderosos de prova, que nem sempre podiam ser validados por métodos existentes. E isso muitas vezes levantou dúvidas quanto à questão de determinado método de prova, embora autoevidente, ser completamente infalível.

Assim, por volta de 1900, houve uma crise nos fundamentos da matemática, ou seja, que não havia fundamentos. Mas o que tinha acontecido com as leis da lógica pura? Elas não deviam, supostamente, resolver todas as disputas no reino da matemática? O fato embaraçoso era que as “leis da lógica pura” eram o motivo das disputas em matemática naquela época. Aristóteles foi o primeiro a codificar essas leis no século IV a.C. e assim fundou o que hoje é chamado de teoria da prova. Ele assumiu que uma prova deve consistir em uma sequência de declarações, começando com algumas premissas e definições e terminando com a conclusão desejada. Para que uma sequência de declarações seja uma prova válida, cada declaração, à parte das premissas iniciais, tinha de resultar das anteriores de acordo com um conjunto fixo de padrões denominados silogismos. Um silogismo típico era o seguinte: Todos os homens são mortais. Sócrates é homem. (Portanto) Sócrates é mortal.

Em outras palavras, essa regra dizia que, se uma declaração na forma “todos os As têm a propriedade B” (como em “todos os homens são mortais”) aparece em uma prova, e outra declaração na forma “o indivíduo X é A” (como em “Sócrates é homem”) também aparece, então a declaração “X tem a propriedade B” (“Sócrates é mortal”) pode aparecer validamente mais tarde na prova e especificamente é uma conclusão válida. Os silogismos exprimiam o que chamaríamos de regras de inferência, isto é, regras que definem as etapas permitidas em provas, de tal forma que a verdade das premissas é transmitida às conclusões. Pelo mesmo motivo, elas são regras que podem ser aplicadas para determinar se uma prova proposta é válida ou não.

Aristóteles havia declarado que todas as provas válidas podiam ser

expressas de forma silogística. Mas ele não provou isso! E o problema da teoria da prova era que muito poucas provas matemáticas modernas foram expressas puramente como uma sequência de silogismos; e muitas delas nem poderiam ser remodeladas dessa forma, mesmo em princípio. No entanto, a maioria dos matemáticos não podia se apegar à letra da lei aristotélica, pois algumas das novas provas pareciam tão evidentemente válidas quanto o raciocínio aristotélico. A matemática havia avançado. Novas ferramentas, como a lógica simbólica e a teoria dos conjuntos, permitiram que os matemáticos relacionassem estruturas matemáticas entre si de novas maneiras. Isso havia criado novas verdades autoevidentes que eram independentes das regras clássicas da inferência, portanto essas regras clássicas eram evidentemente inadequadas por si mesmas. Mas quais dos novos métodos de prova eram genuinamente infalíveis? Como deviam as regras da inferência ser modificadas de tal forma que tivessem a completude que Aristóteles havia erroneamente afirmado? Como poderia a autoridade absoluta das velhas regras ser reconquistada se os matemáticos não podiam concordar a respeito do que era autoevidente e do que era absurdo?

Enquanto isso, os matemáticos continuavam a construir seus castelos abstratos no céu. Para finalidades práticas, muitas dessas construções pareciam suficientemente sólidas. Algumas se tornaram indispensáveis em ciência e tecnologia, e a maioria estava ligada por uma bela e frutífera estrutura explicativa. Não obstante, ninguém podia garantir que a estrutura inteira, ou qualquer parte substancial dela, não se baseava em uma contradição lógica que a tornaria literalmente absurda. Em 1902, Bertrand Russell provou que um esquema para definir rigorosamente a teoria dos conjuntos, proposto recentemente pelo alemão especialista em lógica Gottlob Frege, era inconsistente. Isso não significava que era necessariamente inválido usar conjuntos em provas. Na verdade, muito poucos matemáticos supunham seriamente que qualquer dos meios usuais de usar conjuntos, ou aritmética, ou outras áreas essenciais da matemática, poderia ser inválido. O que era chocante no resultado de Russell era que os matemáticos tinham acreditado que seu assunto era “par excellence” a maneira de chegar à certeza absoluta por meio das provas dos teoremas matemáticos. A própria possibilidade de controvérsia sobre a validade de métodos diferentes de prova debilitou todo o propósito (como foi suposto) do assunto.

Muitos matemáticos, portanto, acharam que era uma questão de urgência assentar a teoria da prova, e dessa forma a própria matemática, sobre um

fundamento seguro. Eles queriam consolidar seus avanços apressados: definir de uma vez por todas quais tipos de prova eram absolutamente seguros e quais não eram. O que quer que estivesse fora da zona segura poderia ser descartado e o que estivesse dentro seria a única base de toda a matemática futura.

Para esse fim, o matemático holandês Luitzen Egbertus Jan Brouwer advogava uma estratégia extremamente conservadora para a teoria da prova, conhecida como intuicionismo, que até hoje ainda tem adeptos. Os intuicionistas tentam construir a "intuição" da maneira mais estreitamente concebível, conservando apenas o que consideras seus aspectos inalteráveis e autoevidentes. Elevam a intuição matemática, assim definida, a um "status" mais alto do que Platão atribuiu a ela: eles a consideram até mesmo anterior à lógica pura. Assim, consideram a própria lógica não confiável, exceto onde é justificada por intuição matemática direta. Por exemplo, os intuicionistas negam que seja possível ter uma intuição direta de qualquer entidade infinita. Portanto, negam totalmente a existência de qualquer conjunto infinito, como o conjunto de todos os números naturais. A proposição "existem infinitos números naturais", eles considerariam autoevidentemente falsa. E a proposição "existem mais ambientes Cantgotu do que ambientes fisicamente possíveis", eles considerariam completamente sem sentido.

Historicamente, o intuicionismo representou um papel valioso de liberação, da mesma forma que o indutivismo. Ele ousou questionar certezas recebidas — algumas das quais eram realmente falsas. Mas como teoria positiva do que é ou não uma prova matemática válida, ele é inútil. Na verdade, na matemática o intuicionismo é exatamente a expressão do solipsismo. Em ambos os casos, há uma reação exagerada ao pensamento de que não podemos ter certeza do que sabemos sobre o mundo mais amplo. Em ambos os casos a solução proposta é nos retirarmos para um mundo interno que podemos, supostamente, conhecer diretamente e, portanto (?), podemos ter certeza de conhecer verdadeiramente. Em ambos os casos a solução envolve negar a existência — ou, pelo menos, renunciar à explicação — do que está fora. E em ambos os casos essa renúncia também impossibilita explicar muito do que está dentro do domínio favorecido. Por exemplo, se, como sustentam os intuicionistas, é realmente falso que existem infinitos números naturais, podemos inferir que deve haver somente uma quantidade finita deles. Quantos? E também, qualquer que seja esse número, por que não podemos ter uma intuição do próximo número natural acima dele? Os

intuicionistas explicariam esse problema salientando que o argumento que apresentei assume a validade da lógica comum. Em particular, ele implica inferir, do fato de não existirem infinitos números naturais, que deve haver determinado número finito deles. A regra relevante da inferência é chamada lei do terceiro excluído. Essa regra diz que, para qualquer proposição X (como "existem infinitos números naturais"), não existe uma terceira possibilidade entre X ser verdadeira e sua negação ser verdadeira ("existe uma quantidade finita de números naturais"). Calmamente os intuicionistas negam a lei do terceiro excluído.

Como na mente da maioria das pessoas a lei do terceiro excluído é por si mesma sustentada por uma poderosa intuição, sua rejeição naturalmente faz com que os não intuicionistas queiram saber se a intuição dos intuicionistas é tão autoevidentemente confiável. Ou, se considerarmos a lei do terceiro excluído como originária de uma intuição lógica, ela nos levará a reexaminar a questão sobre se a intuição matemática realmente suplanta a lógica. Em algum nível, pode ser autoevidente que suplanta?

Mas tudo isso é apenas para criticar o intuicionismo de fora. Não é refutação; nem pode o intuicionismo ser refutado. Se as pessoas insistem que uma proposição autoconsistente é autoevidente para elas, da mesma forma que insistem que somente elas mesmas existem, não se pode provar que estão erradas. Entretanto, da mesma forma que com o solipsismo em geral, a falha realmente fatal do intuicionismo é revelada não quando ele é atacado, mas quando é levado a sério em seus próprios termos, como uma explicação do seu próprio mundo, arbitrariamente truncado. Os intuicionistas acreditam na realidade dos números naturais finitos 1, 2, 3... e até 10.949.769.651.859. Mas a argumentação intuitiva de que, como cada um desses números tem um sucessor, eles formam uma sequência infinita, na visão dos intuicionistas não é mais do que uma auto ilusão ou afetação literalmente insustentável. Mas cortando a ligação entre sua versão dos "números naturais" abstratos e as intuições que esses números originalmente tinham a intenção de formalizar, os intuicionistas também negaram a si mesmos a estrutura explicativa usual por meio da qual os números naturais são entendidos. Isso levanta um problema para qualquer um que prefira explicações a complicações inexplicadas. Em vez de solucionar esse problema fornecendo uma alternativa ou estrutura explicativa mais profunda para os números naturais, o intuicionismo faz exatamente o que fez a Inquisição e o que os solipsistas fazem: ele retrocede ainda mais da explicação. Introduz mais complicações

inexplicadas (neste caso, a negação da lei do terceiro excluído) cujo único propósito é permitir aos intuicionistas se comportar como se a explicação de seus oponentes fosse verdadeira, embora não tirem nenhuma conclusão disso.

Da mesma forma que os solipsistas iniciam com a motivação de simplificar um mundo incerto e assustadoramente diverso, mas que quando levado a sério acaba sendo o realismo mais algumas complicações desnecessárias, o intuicionismo acaba sendo uma das doutrinas mais contra intuitivas que jamais foi defendida seriamente.

David Hilbert propôs um plano de muito mais bom senso — mas ainda finalmente condenado — para "estabelecer de uma vez por todas a certeza dos métodos matemáticos". O plano de Hilbert era baseado na ideia da consistência. Ele esperava formular de uma vez por todas um conjunto completo de regras modernas de inferência para provas matemáticas, com certas propriedades. Elas seriam finitas em número. Seriam diretamente aplicáveis, de forma que determinar se qualquer prova pretendida as satisfazia ou não seria um exercício incontroverso. Preferivelmente, as regras seriam intuitivamente autoevidentes, mas isso não era uma consideração dominante para o pragmático Hilbert. Ele ficaria satisfeito se as regras correspondessem apenas moderadamente bem à intuição, desde que ele pudesse ter certeza de que elas eram autoconsistentes. Isto é, se as regras designassem dada prova como válida, ele queria estar seguro de que elas nunca poderiam designar qualquer outra prova com conclusão oposta como válida. Como ele poderia ter certeza de uma coisa assim? Desta vez a consistência teria de ser provada, usando um método de prova que por si mesmo seguisse as mesmas regras de inferência. Então Hilbert esperou que a completude e a certeza aristotélicas seriam restauradas, que todas as declarações matemáticas verdadeiras seriam, em princípio, demonstráveis de acordo com as regras, e que nenhuma declaração falsa seria demonstrável. Em 1900, para marcar a virada do século, Hilbert publicou uma lista de problemas que esperava que os matemáticos pudessem solucionar no século XX. O décimo problema era encontrar um conjunto de regras de inferência com as propriedades citadas acima e, pelos seus próprios padrões, provar que elas eram consistentes.

Hilbert ficaria completamente desapontado. Trinta e um anos depois, Kurt Gödel revolucionou a teoria da prova com uma completa refutação com a qual os mundos matemático e filosófico ainda estão zonzos: ele provou que o décimo problema de Hilbert é insolúvel. Gödel provou primeiro que

qualquer conjunto de regras de inferência capaz de validar corretamente mesmo as provas da aritmética comum nunca poderiam validar uma prova de sua própria consistência. Portanto, não há esperança de encontrar o conjunto de regras que possa ser provado como consistente que Hilbert imaginou. Segundo, Gödel provou que, se um conjunto de regras de inferência em algum ramo (suficientemente rico) da matemática é consistente (quer possa ser provado ou não), então dentro desse ramo da matemática devem existir métodos válidos de prova que essas regras falham em designar como válidos. Isso é chamado de teorema da incompletude de Gödel. Para provar seus teoremas, Gödel usou uma notável extensão do "argumento diagonal" de Cantor que mencionei no Capítulo 6. Ele começou considerando qualquer conjunto consistente de regras de inferência. Depois mostrou como construir uma proposição que não podia ser provada nem desmentida segundo essas regras. Então provou que a proposição seria verdadeira.

Se o programa de Hilbert tivesse funcionado, teria sido ruim para o conceito de realidade que estou promovendo neste livro, pois eliminaria a necessidade do entendimento no julgamento de ideias matemáticas. Qualquer um — ou qualquer máquina sem mente — que pudesse decorar as esperadas regras de inferência de Hilbert seria tão bom juiz de proposições matemáticas quanto o mais hábil dos matemáticos, embora sem precisar da percepção ou do entendimento do matemático ou mesmo ter a mais remota ideia do assunto das proposições. Em princípio, seria possível fazer novas descobertas matemáticas sem saber nem um pouco de matemática além das regras de Hilbert. Alguém poderia simplesmente verificar todas as cadeias de letras e símbolos matemáticos possíveis em ordem alfabética até que uma delas passasse no teste para ser uma prova ou desmentido de alguma conjetura famosa não solucionada. Em princípio, poder-se-ia estabelecer qualquer controvérsia matemática sem ao menos entendê-la — sem mesmo saber o significado dos símbolos, para não dizer como a prova funcionava, ou o que ela provava, ou que método de prova era usado, ou por que era confiável.

Talvez pareça que a obtenção de um padrão unificado de prova em matemática poderia pelo menos nos ajudar no empenho geral em direção à unificação, isto é, no "aprofundamento" do nosso conhecimento a que me referi no Capítulo 1. Mas o que acontece é o oposto. Como a "teoria de tudo" que faz previsões na física, as regras de Hilbert quase nada nos teriam dito sobre a estrutura da realidade. No que concerne à matemática, elas teriam realizado a visão reducionista definitiva, prevendo tudo (em princípio), mas

não explicando nada. Além disso, se a matemática tivesse sido reducionista, todas as características indesejáveis que argumentei no Capítulo 1 e que estão ausentes da estrutura do conhecimento humano teriam estado presentes na matemática: ideias matemáticas teriam formado uma hierarquia, tendo como raiz as regras de Hilbert. As verdades matemáticas cuja verificação a partir das regras era muito complexa seriam objetivamente menos fundamentais do que as que podiam ser verificadas imediatamente a partir das regras. Como pode ter havido somente um fornecimento finito dessas verdades fundamentais, à medida que o tempo passava a matemática teria precisado se preocupar com problemas sempre menos fundamentais. A matemática poderia ter terminado nessa hipótese sombria. Se não terminasse, teria inevitavelmente se fragmentado em especialidades cada vez mais arcanas, à medida que crescesse a complexidade das questões "emergentes" que os matemáticos seriam forçados a estudar e à medida que as conexões entre essas questões e fundamentos do assunto se tornassem cada vez mais distantes.

Graças a Gödel, sabemos que nunca haverá um método permanente para determinar se uma proposição matemática é verdadeira, da mesma forma que não há um meio permanente para determinar se uma teoria científica é verdadeira. E nunca haverá um meio permanente para gerar conhecimento matemático novo. Portanto, o progresso na matemática sempre dependerá do exercício da criatividade. Sempre será possível e necessário para os matemáticos inventar novos tipos de prova. Eles os validarão com novos argumentos e por novos modos de explicação dependendo de seu entendimento cada vez melhor das entidades abstratas envolvidas. Os próprios teoremas de Gödel eram um caso em questão: para prová-los, ele precisava inventar um novo método de prova. Eu disse que o método era baseado no "argumento diagonal", mas Gödel estendeu esse argumento de uma maneira nova. Nada tinha sido provado dessa maneira antes; nenhuma regra de inferência formulada por alguém que nunca havia visto o método de Gödel poderia ter sido presciente o bastante para designá-lo como válido. No entanto, ele é autoevidentemente válido. De onde veio essa autoevidência? Veio do entendimento de Gödel da natureza da prova. Suas provas são tão convincentes quanto qualquer outra em matemática, mas somente se se entender primeiro a explicação que as acompanha.

Portanto, a explicação desempenha na matemática pura o mesmo papel soberano que desempenha na ciência. Explicar e entender o mundo — o

mundo físico e o mundo das abstrações matemáticas — é em ambos os casos o objetivo do exercício. Prova e observação são meros meios com os quais verificamos nossas explicações.

Roger Penrose tirou outra lição, radical e platônica, dos resultados de Gödel. Como Platão, Penrose é fascinado com a capacidade da mente humana para compreender as certezas abstratas da matemática. Ao contrário de Platão, ele não acredita no sobrenatural e toma como certo que o cérebro é parte do mundo natural e tem acesso somente a ele. Portanto, o problema é ainda mais agudo para ele do que era para Platão: como pode o mundo físico, indistinto e não confiável, fornecer certezas matemáticas para uma parte indistinta e não confiável dele mesmo, como é um matemático? Em particular, Penrose quer saber como podemos perceber a infalibilidade de novas formas válidas de prova, das quais Gödel garante que existe um suprimento ilimitado.

Penrose ainda está trabalhando em uma resposta detalhada, mas ele alega que a própria existência desse tipo de intuição matemática ilimitada é fundamentalmente incompatível com a estrutura existente da física e, em particular, que ela é incompatível com o princípio de Turing. Em resumo, seu argumento é o que vem a seguir. Se o princípio de Turing é verdadeiro, podemos considerar o cérebro (ou qualquer outro objeto) como um computador executando determinado programa. As interações do cérebro com o ambiente constituem as entradas e saídas do programa. Agora pense em um matemático no ato de decidir se algum novo tipo de prova recentemente proposto é válido ou não. Tomar essa decisão é equivalente a executar um programa de computador de validação de prova no cérebro do matemático. Esse programa incorpora um conjunto de regras hilbertianas de inferência que, de acordo com o teorema de Gödel, não pode ser completo. Além disso, como eu disse, Gödel oferece um meio de construir, e provar, uma proposição verdadeira que essas regras nunca podem reconhecer como provada. Portanto, o matemático, cuja mente é efetivamente um computador aplicando essas regras, da mesma forma nunca pode reconhecer a proposição como provada. Penrose propõe então mostrar a proposição, e o método de Gödel de provar que ela é verdadeira, para esse mesmo matemático. O matemático entende a prova. Afinal, ela é autoevidentemente válida, portanto o matemático pode presumivelmente ver que ela é válida. Mas isso iria contradizer o teorema de Gödel. Portanto, deve haver uma suposição falsa em algum lugar do argumento, e Penrose acha que a falsa suposição é o princípio

de Turing.

A maioria dos cientistas de computação não concorda com Penrose que o prin¬cípio de Turing é o elo mais fraco dessa história. Eles diriam que o matemático da história realmente seria incapaz de reconhecer a proposição de Gödel como provada. Pode parecer estranho que um matemático deva subitamente tornar-se incapaz de compreender uma prova autoevidente. Mas, veja esta proposição:

David Deutsch não pode julgar consistentemente esta afirmação como sendo verdadeira.

Estou tentando o máximo possível, mas não posso julgar de modo consistente que ela seja verdadeira. Pois se o fizesse, estaria julgando que eu não posso julgá-la como verdadeira e estaria me contradizendo. Mas você pode ver que ela é verdadeira, não pode? Isso mostra que é pelo menos possível que uma proposição seja impenetrável para uma pessoa, ainda que seja autoevidentemente verdadeira para todas as outras.

De qualquer forma, Penrose espera que uma nova e fundamental teoria da física substitua a teoria quântica e a teoria da relatividade geral. Ela faria previsões novas e testáveis, embora naturalmente concordasse com a teoria quântica e com a relatividade para todas as observações existentes. (Não existem contraexemplos experimentais conhecidos dessas teorias.) Entretanto, o mundo de Penrose é fundamentalmente muito diferente do que a física existente descreve. Sua estrutura básica da realidade é o que nós chamamos de mundo de abstrações matemáticas. A esse respeito Penrose, cuja realidade inclui todas as abstrações matemáticas, mas talvez não todas as abstrações (como honra e justiça), está em algum lugar entre Platão e Pitágoras. O que chamamos de mundo físico, para ele é totalmente real (outra diferença de Platão), mas de alguma forma é parte da própria matemática ou dela emerge. Além disso, não existe universalidade; especialmente, não existe máquina que possa reproduzir todos os processos de pensamento humano. Apesar disso, o mundo (principalmente, é claro, seu substrato matemático) ainda é compreensível. Sua compreensibilidade é assegurada não pela universalidade da computação, mas por um fenômeno muito novo na física (embora não para Platão): as entidades matemáticas impressionam diretamente o cérebro humano, por meio de processos físicos ainda por serem descobertos. Desta forma, o cérebro, de acordo com Penrose, não faz matemática unicamente por referência ao que atualmente chamamos de mundo físico. Ele tem acesso direto a uma realidade platônica de Formas

matemáticas e pode perceber nela verdades matemáticas com (erros à parte) certeza absoluta.

Muitas vezes é sugerido que o cérebro pode ser um computador quântico e que suas intuições, consciência e habilidade de solucionar problemas poderiam depender de cálculos quânticos. Isso poderia ser assim, mas eu não conheço nenhuma evidência nem argumento convincente para ser assim. Minha aposta é que o cérebro, considerado um computador, é um computador clássico. Mas essa questão é independente das ideias de Penrose. Ele não está argumentando que o cérebro é um novo tipo de computador universal, diferindo do computador quântico universal por ter um repertório maior de cálculos tornados possíveis por uma nova física pós-quântica. Ele está argumentando por uma nova física que não suportará a universalidade computacional, de forma que nessa nova teoria não será possível interpretar algumas das ações do cérebro como computações.

Devo admitir que não consigo imaginar uma teoria dessas. No entanto, avanços fundamentais são difíceis de imaginar antes que ocorram. Naturalmente é difícil julgar a teoria de Penrose antes que ele tenha sucesso em formulá-la completamente. Se uma teoria com as propriedades que ele espera eventualmente superar a teoria quântica ou a teoria da relatividade geral, ou ambas, seja por meio de testes experimentais, seja oferecendo um nível mais profundo de explicação, então todas as pessoas razoáveis desejarão adotá-la. Então embarcaríamos na aventura de compreender a nova visão de mundo que as estruturas explicativas da teoria nos compeliriam a adotar. Provavelmente seria uma visão de mundo muito diferente da que estou apresentando neste livro. Entretanto, mesmo que tudo isso venha a acontecer, ainda fico perdido em perceber como a motivação original da teoria, a da explicação de nossa capacidade de entender novas provas matemáticas, poderia ser satisfeita. Permaneceria o fato de que, agora e através da história, grandes matemáticos têm tido intuições diferentes e conflitantes sobre a validade dos vários métodos de prova. Portanto, mesmo que seja verdade que uma realidade físico-matemática absoluta alimenta suas verdades diretamente nos nossos cérebros para criar intuições matemáticas, os matemáticos não são sempre capazes de distinguir essas intuições de outras intuições e ideias errôneas. Infelizmente sinos não tocam nem luzes piscam quando estamos compreendendo uma prova verdadeiramente válida. Às vezes podemos sentir uma piscada de luz, em um momento de “eureca”, e contudo estar errados. E mesmo se a teoria previsse que existe um indicador

físico que não foi notado anteriormente e que acompanha as intuições verdadeiras (isto está ficando extremamente implausível), certamente acharíamos que ele é útil, mas isso ainda não resultaria em uma prova de que o indicador funciona. Nada pode provar que algum dia uma teoria física ainda melhor não suplantará a de Penrose e revelará que o suposto indicador afinal não era confiável e algum outro era melhor. Assim, mesmo se fizermos todas as concessões possíveis à proposta de Penrose, se imaginarmos que ela é verdadeira e virmos o mundo totalmente em seus termos, isso ainda não nos ajudará a explicar a alegada certeza do conhecimento que adquirirmos fazendo matemática.

Apresentei apenas um esboço dos argumentos de Penrose e seus oponentes. O leitor deve ter concluído que, essencialmente, estou do lado dos oponentes. Entretanto, mesmo se for admitido que o argumento Gödeliano de Penrose não prova o que pretende provar, e sua proposição de uma nova teoria física pareça incapaz de explicar o que pretende explicar, Penrose, não obstante, tem razão ao dizer que qualquer visão de mundo baseada no conceito existente de racionalidade científica cria um problema para os fundamentos aceitos da matemática (ou, como Penrose teria dito, vice-versa). Este é o antigo problema que Platão levantou, que, como Penrose afirma, torna-se mais agudo à luz do teorema de Gödel e do princípio de Turing. O problema é este: em uma realidade composta de física e entendida pelos métodos da ciência, de onde vem a certeza matemática? Enquanto a maioria dos matemáticos e cientistas de computação tomam como certa a certeza da intuição matemática, eles não levam a sério o problema de reconciliar isso com uma visão de mundo científica. Penrose o leva a sério e propõe uma solução. Sua proposta visualiza um mundo compreensível, rejeita o sobrenatural, reconhece a criatividade como central para a matemática, atribui realidade objetiva tanto ao mundo físico quanto a entidades abstratas e envolve uma integração dos fundamentos da matemática e da física. Em todos esses aspectos, estou do lado dele.

Como as tentativas de Brouwer, Hilbert, Penrose e todas as outras de satisfazer o desafio de Platão não parecem ter sido bem-sucedidas, vale a pena examinar mais uma vez a aparente demolição que Platão fez da ideia de que a verdade matemática pode ser obtida pelos métodos da ciência.

Antes de mais nada, Platão nos diz que, desde que temos acesso somente a círculos imperfeitos (digamos), não podemos desta forma obter nenhum conhecimento de círculos perfeitos. Mas por que não, exatamente? Também

se poderia dizer que não podemos descobrir as leis dos movimentos planetários porque não temos acesso a planetas reais, mas apenas a imagens de planetas. (A Inquisição disse isso, e eu expliquei por que eles estavam errados.) Também se poderia dizer que é impossível construir ferramentas precisas porque a primeira delas teria de ser construída com ferramentas imprecisas. Com o benefício da percepção posterior, podemos ver que essa linha de crítica depende de um panorama muito rude de como a ciência funciona — algo como o indutivismo — que dificilmente é surpreendente, pois Platão viveu antes de qualquer coisa que reconheceríamos como ciência. Se a única maneira de aprender sobre círculos com a experiência fosse examinar milhares de círculos físicos e então, a partir dos dados acumulados, tentar inferir alguma coisa sobre suas contrapartes abstratas euclidianas, Platão teria razão. Mas, se criarmos a hipótese de que círculos reais se assemelham aos abstratos de maneiras especificadas, e estivermos certos, poderemos então aprender alguma coisa sobre círculos abstratos examinando os reais. Na geometria euclidiana muitas vezes usam-se diagramas para especificar um problema geométrico ou sua solução. Haverá uma possibilidade de erro nesse método de descrição se as imperfeições dos círculos no diagrama derem uma impressão enganosa — por exemplo, se parecer que dois círculos se tocam quando não se tocam. Mas, se entendermos o relacionamento entre círculos reais e círculos perfeitos, com cuidado podem-se eliminar esses erros. Se não se entender esse relacionamento, será praticamente impossível entender a geometria euclidiana.

A confiabilidade do conhecimento de um círculo perfeito que pode ser obtido de um diagrama de círculo depende inteiramente da exatidão da hipótese de que os dois são semelhantes de modo relevante. Essa hipótese, referindo-se a um objeto físico (o diagrama) resulta em uma teoria física e nunca pode ser conhecida com certeza. Mas, como diria Platão, isso não impede a possibilidade de aprender sobre círculos perfeitos com a experiência; apenas impede a possibilidade da certeza. Isso não deve preocupar ninguém que não esteja procurando certeza, mas explicações.

A geometria euclidiana pode ser formulada de modo abstrato totalmente sem diagramas. Mas a maneira como os numerais, letras e símbolos matemáticos são usados em uma prova simbólica não pode gerar mais certeza do que um diagrama, e pelo mesmo motivo. Os símbolos também são objetos físicos — digamos, padrões de tinta sobre o papel — que denotam objetos

abstratos. E mais uma vez estamos confiando inteiramente na hipótese de que o comportamento físico dos símbolos corresponde ao comportamento das abstrações que eles representam. Portanto, a confiabilidade do que aprendemos manipulando esses símbolos depende inteiramente da exatidão das nossas teorias sobre seu comportamento físico e do comportamento das nossas mãos, olhos e assim por diante, com os quais manipulamos e observamos os símbolos. Uma tinta de truque que fizesse um símbolo qualquer mudar de aparência quando não estamos olhando — talvez com controle remoto de um piadista de alta tecnologia — poderia rapidamente nos iludir sobre o que sabemos "com certeza".

Agora vamos reexaminar outra suposição de Platão: a de que não temos acesso à perfeição no mundo físico. Ele pode estar certo de que não encontraremos honra ou justiça perfeitas e certamente tem razão quando diz que não encontraremos as leis da física ou o conjunto de todos os números naturais. Mas podemos encontrar uma mão de cartas perfeita para o bridge, ou o movimento perfeito em dada posição de xadrez. Isso é o mesmo que dizer que podemos encontrar objetos ou processos físicos que possuem completamente as propriedades das abstrações especificadas. Podemos aprender a jogar xadrez com um tabuleiro e peças reais tão bem quanto com uma Forma perfeita de um conjunto de xadrez. O fato de um cavalo estar lascado não torna menos final o xeque-mate que ele dá.

Um círculo euclidiano perfeito pode ser feito disponível aos nossos sentidos. Platão não percebeu isso porque não conhecia a realidade virtual. Não seria muito difícil programar os geradores de realidade virtual que imaginei no Capítulo 5 com as regras da geometria euclidiana de modo que o usuário pudesse experimentar uma interação com um círculo perfeito. Não tendo espessura, o círculo seria invisível, a não ser que modificássemos também as leis da óptica e, neste caso, poderíamos lhe dar um brilho para permitir que o usuário soubesse onde ele estaria. (Os puristas podem preferir fazer isso sem esse embelezamento.) Poderíamos fazer o círculo rígido e impenetrável, e o usuário poderia testar suas propriedades usando ferramentas rígidas e impenetráveis e instrumentos de medição. Paquímetros de realidade virtual precisariam ter bordas perfeitamente aguçadas para poder medir uma espessura zero com exatidão. Seria permitido ao usuário "desenhar" outros círculos ou outras figuras geométricas de acordo com as regras da geometria euclidiana. O tamanho das ferramentas, e o próprio tamanho do usuário, poderiam ser ajustáveis à vontade para permitir que as

previsões dos teoremas geométricos fossem verificadas em qualquer escala, por mais fina que fosse. Em todos os sentidos, o círculo reproduzido poderia responder precisamente como é especificado nos axiomas de Euclides. Portanto, com base na ciência atual, devemos concluir que Platão entendeu ao contrário. Nós podemos perceber círculos perfeitos na realidade física (isto é, realidade virtual); mas nunca os perceberemos no domínio das Formas, pois, até onde se pode admitir a existência desse domínio, não temos dele nenhuma percepção.

Incidentalmente, o conceito de Platão sobre o fato de a realidade física consistir em imitações imperfeitas de abstrações parece uma atitude desnecessariamente assimétrica hoje em dia. Como Platão, ainda estudamos abstrações por seu próprio interesse. Mas na ciência pós-Galileu, e na teoria da realidade virtual, também consideramos as abstrações como meio de entender entidades físicas reais ou artificiais e, nesse contexto, tomamos por certo que as abstrações são quase sempre aproximações da verdadeira situação física. Portanto, enquanto Platão pensava em círculos terrenos na areia como aproximações de círculos matemáticos verdadeiros, um físico moderno consideraria um círculo matemático como aproximação imperfeita das formas verdadeiras de órbitas planetárias, átomos e outras coisas físicas.

Dado que sempre haverá possibilidade de o gerador de realidade virtual ou sua interface de usuário darem errado, podemos dizer que uma reprodução em realidade virtual de um círculo euclidiano realmente alcança a perfeição, até os padrões da certeza matemática? Podemos. Ninguém alega que a própria matemática está livre desse tipo de incerteza. Os matemáticos podem calcular erradamente, não lembrar de axiomas, introduzir erros de impressão nas contas do seu próprio trabalho e assim por diante. A alegação é que, erros grosseiros à parte, suas conclusões são infalíveis. De modo semelhante, o gerador de realidade virtual, quando estivesse funcionando adequadamente de acordo com as especificações de projeto, reproduziria perfeitamente um círculo euclidiano perfeito.

Uma objeção semelhante seria que nunca podemos dizer com certeza como se comportará o gerador de realidade virtual controlado por dado programa, porque isso depende do funcionamento da máquina e, no final das contas, das leis da física. Como não podemos conhecer as leis da física com certeza, não podemos saber com certeza se a máquina está genuinamente reproduzindo geometria euclidiana. Mais uma vez, ninguém nega que fenômenos físicos imprevisíveis — resultantes de leis desconhecidas da física

ou meramente de doença cerebral ou tinta de truque — poderiam enganar um matemático. Mas se as leis da física, em aspectos relevantes, são o que achamos que são, o gerador de realidade virtual pode fazer seu trabalho perfeitamente, mesmo que não possamos ter certeza de que está fazendo. Devemos ter cuidado para distinguir entre duas questões: se podemos saber que a máquina de realidade virtual está reproduzindo um círculo perfeito; e se ela está de fato reproduzindo um círculo. Nunca podemos saber com certeza, mas isso não deprecia em nada a perfeição do círculo que a máquina realmente reproduz. Voltarei a esta distinção crucial — entre o conhecimento perfeito (certeza) sobre uma entidade e a própria entidade sendo "perfeita" — daqui a pouco.

Suponha que modifiquemos deliberadamente o programa de geometria euclidiana de maneira que o gerador de realidade virtual ainda reproduza círculos muito bem, mas com menos perfeição. Seríamos incapazes de inferir qualquer coisa sobre círculos perfeitos experimentando essa reprodução imperfeita? Isso dependeria inteiramente de sabermos em quais aspectos o programa tinha sido alterado. Se soubéssemos, poderíamos resolver com certeza (à parte dos erros etc.) quais aspectos das experiências que tínhamos na máquina representariam fielmente círculos perfeitos e quais não representariam. E nesse caso o conhecimento obtido seria tão confiável quanto qualquer um que obtivéssemos ao usar o programa correto.

Quando imaginamos círculos, estamos fazendo exatamente esse tipo de reprodução de realidade virtual no nosso cérebro. O motivo de isto não ser um meio inútil de pensar sobre círculos perfeitos é que somos capazes de formar teorias exatas sobre quais propriedades nossos círculos imaginários compartilham ou não com círculos perfeitos.

Usando reprodução de realidade virtual perfeita, poderíamos experimentar seis círculos idênticos tocando a borda de outro círculo idêntico em um plano sem sobreposição. Esta experiência, sob essas circunstâncias, resultaria em uma prova rigorosa de que esse padrão é possível, porque as propriedades geométricas das formas reproduzidas seriam absolutamente idênticas às das formas abstratas. Mas esse tipo de interação "prática" com formas perfeitas não é capaz de produzir todos os tipos de conhecimento da geometria euclidiana. A maioria dos teoremas importantes não se refere a um padrão geométrico, mas a infinitas classes de padrões. Por exemplo, a soma dos ângulos de qualquer triângulo euclidiano é 180°. Podemos medir determinados triângulos com perfeita exatidão na realidade virtual, mas

mesmo na realidade virtual não podemos medir todos os triângulos, portanto não podemos verificar o teorema.

Como o verificamos? Nós o provamos. A prova é definida tradicionalmente como uma sequência de declarações que satisfazem regras autoevidentes de inferência, mas o que o processo de "provar" significa fisicamente? Para provar uma declaração sobre os infinitos triângulos de uma vez, examinamos certos objetos físicos — neste caso, símbolos — que têm propriedades comuns com classes inteiras de triângulos. Por exemplo, quando, sob circunstâncias apropriadas, observamos os símbolos "AABC = ADEF" (isto é, "o triângulo ABC é congruente com o triângulo DEF"), concluímos que uma classe inteira de triângulos que definimos de determinada maneira sempre tem a mesma forma que os triângulos correspondentes em outra classe que definimos de maneira diferente. As "circunstâncias apropriadas" que dão a essa conclusão o "status" de prova são, em termos físicos, que os símbolos aparecem em uma página embaixo de outros símbolos (alguns dos quais representam axiomas da geometria euclidiana) e que o padrão no qual os símbolos aparecem está em conformidade com certas regras, ou seja, as regras da inferência.

Mas quais regras de inferência devemos usar? Isso é como perguntar como devemos programar o gerador de realidade virtual para fazer com que ele reproduza o mundo da geometria euclidiana. A resposta é que devemos usar regras de inferência que, no melhor do nosso entendimento, farão com que nossos símbolos se comportem, naquilo que é relevante, como as entidades abstratas que representam. Como podemos ter certeza de que eles se comportarão assim? Não podemos. Suponha que alguns críticos façam objeção às nossas regras de inferência porque acham que nossos símbolos se comportarão de modo diferente das entidades abstratas. Não podemos apelar para a autoridade de Aristóteles ou Platão, nem podemos provar que nossas regras de inferência são infalíveis (sem relação com o teorema de Gödel, isto levaria a um regresso infinito, pois primeiro deveríamos provar que o próprio método da prova que usamos era válido). Nem podemos arrogantemente dizer aos críticos que deve haver alguma coisa errada com sua intuição, porque a nossa diz que os símbolos imitarão as entidades abstratas com perfeição. Tudo o que podemos fazer é explicar. Devemos explicar por que achamos que, sob as circunstâncias, os símbolos se comportarão da maneira desejada de acordo com as regras que propusemos. E os críticos podem explicar por que favorecem uma teoria rival. Uma discordância a respeito de

duas dessas teorias é, em parte, sobre o comportamento observável dos objetos físicos. Essas discordâncias podem ser tratadas pelos métodos normais da ciência. Às vezes elas podem ser prontamente resolvidas, outras vezes não. Outra causa dessa discordância poderia ser um conflito conceitual sobre a natureza das entidades abstratas. Mais uma vez, é uma questão de explicações rivais, agora sobre abstrações em vez de sobre objetos físicos. Poderíamos chegar a um entendimento comum com nossos críticos, ou concordar que estávamos discutindo dois objetos abstratos diferentes, ou não concordar. Não há garantias. Assim, contrariamente à crença tradicional, não é o caso de as disputas na matemática sempre poderem ser resolvidas puramente por meio de procedimentos.

Uma prova simbólica convencional à primeira vista parece ter um caráter muito diferente do tipo de prova "prática" da realidade virtual. Mas agora vemos que elas estão relacionadas da mesma forma que os cálculos estão relacionados com experimentos físicos. Qualquer experimento físico pode ser considerado um cálculo e qualquer cálculo é um experimento físico. Em ambos os tipos de prova, as entidades físicas (estejam ou não na realidade virtual) são manipuladas de acordo com regras. Em ambos os casos, as entidades físicas representam as entidades abstratas de interesse. E em ambos os casos a confiabilidade da prova depende da verdade da teoria que entidades físicas e abstratas compartilham propriedades adequadas.

Podemos ver também na discussão anterior que a prova é um processo físico. Na verdade, a prova é um tipo de cálculo. "Provar" uma proposição significa efetuar um cálculo que, se for feito corretamente, estabelecerá que a proposição é verdadeira. Quando usamos a palavra "prova" para denotar um objeto, como um texto de tinta sobre papel, queremos dizer que o objeto pode ser usado como um programa para recriar um cálculo do tipo apropriado.

Segue-se que nem os teoremas da matemática, nem os processos da prova matemática, nem a experiência da intuição matemática conferem nenhuma certeza. Nada dá certeza. Nosso conhecimento matemático, da mesma forma que nosso conhecimento científico, pode ser profundo e amplo, pode ser sutil e maravilhosamente explicativo, pode ser aceito sem controvérsias, mas não pode ser incontestável. Ninguém pode garantir que uma prova, que anteriormente se acreditava ser válida, algum dia não acabará contendo uma profunda concepção errônea, feita para parecer natural por uma suposição "autoevidente" anteriormente inquestionada sobre o mundo físico, ou sobre o mundo abstrato, ou sobre a maneira como algumas

entidades físicas e abstratas estão relacionadas.

Foi exatamente uma suposição errônea e autoevidente que fez com que a própria geometria estivesse erroneamente classificada como um ramo da matemática durante mais de dois milênios, desde aproximadamente 300 a.C., quando Euclides escreveu seus Elementos, até o século XIX (e na maioria dos dicionários e livros escolares até hoje). A geometria euclidiana fez parte das intuições de todos os matemáticos. Finalmente alguns deles começaram a duvidar que especialmente um dos axiomas de Euclides era autoevidente (o assim chamado "axioma das paralelas"). A princípio, eles não duvidaram que o axioma era verdadeiro. Diz-se que o grande matemático alemão Cari Friedrich Gauss foi o primeiro a colocá-lo em teste. O axioma das paralelas é necessário para provar que a soma dos ângulos de um triângulo é 180°. A lenda diz que, em grande segredo (por medo do ridículo), Gauss colocou assistentes com lanternas e teodolitos no topo de três colinas, os vértices do maior triângulo que ele podia medir convenientemente. Ele não detectou nenhum desvio das previsões de Euclides, mas agora sabemos que isso aconteceu apenas porque seus instrumentos não tinham sensibilidade suficiente. (A vizinhança da Terra é um lugar geometricamente domesticado.) A teoria da relatividade geral de Einstein incluiu uma nova teoria de geometria que contradizia a de Euclides e foi justificada por experimento. Os ângulos de um triângulo verdadeiro realmente não somam necessariamente 180°: o total verdadeiro depende do campo gravitacional dentro do triângulo.

Uma classificação errônea muito semelhante tem sido causada pelo erro fundamental que os matemáticos desde a Antiguidade têm cometido sobre a própria natureza do seu assunto, ou seja, que o conhecimento matemático é mais seguro do que qualquer outra forma de conhecimento. Tendo cometido esse erro, não há escolha além de classificar a teoria da prova como parte da matemática, pois um teorema matemático não poderia ser seguro se a própria teoria que justifica seu método de prova fosse incerta. Mas, como vimos, a teoria da prova não é um ramo da matemática, é uma ciência. Provas não são abstratas. Não existe algo como provar alguma coisa abstratamente, tanto quanto não existe tal coisa como calcular ou computar alguma coisa abstratamente. Naturalmente pode-se definir uma classe de entidades abstratas e chamá-las de "provas", mas essas "provas" não podem verificar declarações matemáticas porque ninguém pode vê-las. Elas não podem persuadir ninguém da verdade de uma proposição, da mesma forma que um gerador de realidade virtual abstrato que não existe fisicamente não pode

convencer as pessoas de que elas estão em um ambiente diferente, nem um computador abstrato a fatorar um número para nós. Uma “teoria das provas” matemática não teria relação com quais verdades matemáticas podem ou não ser provadas na realidade, da mesma forma que uma teoria de “computação” abstrata não tem relação com o que os matemáticos — ou qualquer outra pessoa — podem ou não calcular na realidade, a não ser que exista uma razão separada e empírica para acreditar que as “computações” abstratas da teoria assemelham-se a computações reais. Computações, inclusive as especiais que se qualificam como provas, são processos físicos. A teoria da prova é sobre como assegurar que esses processos imitem corretamente as entidades abstratas que pretendem imitar.

Os teoremas de Gödel têm sido aclamados como “os primeiros teoremas novos de lógica pura em dois mil anos”. Mas isso não é verdade: os teoremas de Gödel tratam do que pode e não pode ser provado, e prova é um processo físico. Nada na teoria da prova é uma questão somente de lógica. A nova maneira com que Gödel conseguiu provar afirmações gerais sobre provas depende de certas suposições sobre quais processos físicos podem ou não representar um fato abstrato de maneira que um observador possa detectar e ser convencido por ele. Gödel destilou essas suposições na justificação explícita e tácita dos seus resultados. Seus resultados eram autoevidentemente justificados, não porque fossem “lógica pura”, mas porque os matemáticos acharam que as suposições eram autoevidentes.

Uma das suposições de Gödel era aquela tradicional de que uma prova só pode ter um número finito de etapas. A justificação intuitiva dessa suposição é que somos seres finitos e nunca poderíamos entender um número literalmente infinito de afirmações. A propósito, essa intuição preocupou muitos matemáticos quando, em 1976, Kenneth Appel e Wolfgang Haken usaram um computador para provar a famosa “conjetura das quatro cores” (que usando somente quatro cores diferentes, qualquer mapa desenhado em um plano pode ser colorido de forma que duas regiões adjacentes nunca tenham a mesma cor). O programa exigiu centenas de horas no computador, o que significava que as etapas da prova, se fossem escritas, não poderiam ser lidas, para não dizer reconhecidas como autoevidentes, por um ser humano durante muitas vidas. “Devemos aceitar a palavra do computador, de que a conjetura das quatro cores está provada?”, os céticos perguntavam a si mesmos, embora nunca lhes tenha ocorrido catalogar todos os disparos de todos os neurônios em seus próprios cérebros quando aceitaram uma prova

relativamente “simples”.

A mesma preocupação pode parecer mais justificada quando aplicada a uma prova putativa com um número infinito de etapas. Mas o que é “etapa” e o que é “infinito”? No século V a.C., Zenão de Eléia concluiu, baseado em uma intuição semelhante, que Aquiles nunca ultrapassaria a tartaruga se ela tivesse uma vantagem inicial. Afinal, quando Aquiles alcançasse o ponto em que a tartaruga está agora, ela teria andado um pouco. Quando ele alcançasse esse ponto, ela teria andado mais um pouco, e assim por diante ““ad infinitum””. Desta forma, o procedimento de “alcançar” exige que Aquiles execute um número infinito de etapas para alcançar o que supostamente ele não pode fazer porque é um ser finito. Mas o que Aquiles pode fazer não pode ser descoberto pela lógica pura. Depende inteiramente do que as leis da física dizem que ele pode fazer. E, se essas leis dizem que ele ultrapassará a tartaruga, então ele fará isso.

De acordo com a física clássica alcançar exige um número infinito de etapas da forma “ir para a localização atual da tartaruga”. Nesse sentido, é uma operação computacionalmente infinita. De modo equivalente, considerada como prova de que uma quantidade abstrata torna-se maior do que outra quando dado conjunto de operações é aplicado, ela é uma prova com um número infinito de etapas. Mas as leis relevantes a designam como processo físico finito — e isso é tudo o que conta.

A intuição de Gödel sobre etapas e finitude, até onde sabemos, captura restrições físicas reais do processo da prova. A teoria quântica requer etapas discretas e nenhum dos meios conhecidos pelos quais objetos físicos podem interagir permitiriam que um número infinito de etapas precedesse uma conclusão mensurável. (Entretanto, seria possível um número infinito de etapas ser completado em toda a história do universo, como explicarei no Capítulo 14.) A física clássica não teria se conformado com essas intuições se (impossivelmente) ela fosse verdadeira. Por exemplo, o movimento contínuo dos sistemas clássicos teria permitido a computação “análoga”, que não progride em etapas e que tinha um repertório substancialmente diferente do da máquina universal de Turing. São conhecidos diversos exemplos de leis clássicas inventadas segundo as quais uma quantidade infinita de computação (isto é, infinita pelos padrões da máquina de Turing ou do computador quântico) poderia ser efetuada por métodos fisicamente finitos. Naturalmente, a física clássica é incompatível com os resultados de incontáveis experimentos, portanto é um tanto artificial especular sobre o que as leis

clássicas “verdadeiras” da física “teriam sido”; mas o que esses exemplos mostram é que não se pode provar, independentemente de qualquer conhecimento de física, que uma prova deve consistir em etapas finitas. As mesmas considerações aplicam-se à intuição de que deve existir uma quantidade finita de regras de inferência e de que elas devem ser “diretamente aplicáveis”. Nenhum desses requisitos é significativo no abstrato: eles são requisitos físicos. Hilbert, em seu ensaio influente “Sobre o Infinito”, ridicularizou desdenhosamente a ideia de que o requisito de “número finito de etapas” é substantivo. Mas o argumento acima mostra que ele estava errado: ele é substantivo e resulta somente da intuição física dele e de outros matemáticos.

Pelo menos uma das intuições de Gödel sobre a prova estava errada; felizmente, ela não afeta as provas dos seus teoremas. Ele a herdou intacta da pré-história da matemática grega e ela permaneceu inquestionada por todas as gerações de matemáticos, até ser provado que era falsa, na década de 1980, por descobertas na teoria quântica da computação. É a intuição de que a prova é um tipo especial de objeto, ou seja, uma sequência de declarações que obedecem a regras de inferência. Já argumentei que uma prova é mais bem considerada não como objeto, mas sim como um processo, um tipo de cálculo. Mas na teoria clássica da prova ou computação, isso não faz diferença fundamental, pelo motivo a seguir. Se pudermos passar pelo processo de uma prova, poderemos, com apenas uma quantidade moderada de esforço extra, manter um registro de tudo o que acontece nesse processo e que seja relevante. Esse registro, um objeto físico, constituirá uma prova no sentido de sequência de declarações. E, ao contrário, se tivermos esse registro, poderemos lê-lo, verificando se ele satisfaz às regras da inferência e, no processo de fazer isso, teremos provado a conclusão. Em outras palavras, no caso clássico, a conversão entre processos de prova e objetos de prova é sempre uma tarefa tratável.

Agora considere um cálculo matemático que seja intratável em todos os computadores clássicos, mas suponha que um computador quântico possa facilmente efetuá-lo usando interferência entre, digamos, IO500 universos. Para argumentar mais claramente, façamos o cálculo ser de tal forma que a resposta (ao contrário do resultado de uma fatoração) não possa ser tratavelmente verificada uma vez que a tenhamos. O processo de programar um computador quântico para efetuar esse cálculo, executando o programa e obtendo um resultado, constitui uma prova de que o cálculo matemático tem

esse resultado determinado. Mas agora não há meios de manter um registro de tudo o que aconteceu durante o processo da prova, porque a maior parte dele aconteceu em outros universos, e medir o estado computacional alteraria as propriedades de interferência e, desta forma, invalidaria a prova. Portanto, criar um objeto de prova do tipo antiquado seria inexequível; além disso, não existe material remotamente suficiente no universo que conhecemos para fazer esse objeto, pois haveria imensamente mais etapas na prova do que a quantidade de átomos do universo conhecido. Esse exemplo mostra que, por causa da possibilidade da computação quântica, as duas noções de prova não são equivalentes. A intuição de uma prova do tipo como um objeto não captura todas as maneiras pelas quais uma declaração matemática pode realmente ser provada.

Mais uma vez, vemos a insuficiência do método matemático tradicional de obter certeza tentando remover qualquer fonte possível de ambiguidade ou erro das nossas intuições até restar apenas a verdade autoevidente. Foi isso o que Gödel fez. Foi isso o que Church, Post e especialmente Turing fizeram quando tentaram intuir seus modelos universais de computação. Turing esperava que seu modelo abstraído de fita de papel fosse tão simples, tão transparente e tão bem definido que não dependeria de nenhuma suposição sobre física que pudesse ser concebivelmente falsificada e, portanto, que se tornaria a base de uma teoria abstrata de computação independente da física subjacente. “Ele achava”, descreveu Feynman certa vez, “que entendia de papel.” Mas ele estava enganado. Papel quântico verdadeiro é muito diferente da coisa abstrata que a máquina de Turing usa. Essa máquina é totalmente clássica, não admite a possibilidade de o papel ter símbolos diferentes escritos nele em diferentes universos e de eles poderem interferir entre si. Naturalmente é impraticável detectar interferência entre estados diferentes de uma fita de papel. Mas a questão é que a intuição de Turing, porque incluía suposições falsas da física clássica, fez com que ele removesse algumas das propriedades computacionais da sua máquina hipotética, as mesmas que ele tencionava manter. Por isso o modelo de computação resultante era incompleto.

É natural que os matemáticos durante eras tenham cometido vários erros sobre questões de prova e certeza. A discussão presente deveria nos fazer supor que a visão atual também não durará para sempre. Mas a confiança com que os matemáticos cometeram esses erros e sua falta de habilidade para reconhecer até mesmo a possibilidade do erro nessas questões estão, creio eu,

ligadas a uma antiga e difundida confusão entre os métodos da matemática e sua matéria de estudo. Deixe-me explicar. Ao contrário do relacionamento entre entidades físicas, as relações entre entidades abstratas são independentes de quaisquer fatos contingentes e quaisquer leis da física. Elas são determinadas de forma absoluta e objetiva pelas propriedades autônomas das próprias entidades abstratas. A matemática, o estudo dessas relações e propriedades, é portanto o estudo das verdades absolutamente necessárias. Em outras palavras, as verdades que a matemática estuda são absolutamente certas. Mas isso não significa que o nosso conhecimento dessas verdades necessárias é por si mesmo certo, nem que os métodos da matemática conferem verdade necessária às suas conclusões. Afinal, a matemática estuda também falsidades e paradoxos. E isso não significa que as conclusões desse estudo são necessariamente falsas ou paradoxais.

Verdade necessária é meramente a matéria de estudo da matemática, não a recompensa que recebemos por fazer matemática. O objetivo da matemática não é, e não pode ser, certeza matemática. Nem mesmo é verdade matemática, certa ou não. E, e deve ser, explicação matemática.

Então, por que a matemática funciona tão bem? Por que ela nos leva a conclusões que, embora não sejam certezas, podem ser aceitas e aplicadas sem problemas durante milênios, pelo menos? No final das contas o motivo é que uma parte do nosso conhecimento do mundo físico é igualmente confiável e incontroverso. E quando entendermos o mundo físico suficientemente bem, também entendermos quais objetos físicos têm propriedades em comum com quais objetos abstratos. Mas, em princípio, a confiabilidade do nosso conhecimento da matemática continua subordinada ao nosso conhecimento da realidade física. Toda prova matemática depende absolutamente, para sua validade, de estarmos certos sobre as regras que regem o comportamento de alguns objetos físicos, sejam eles geradores de realidade virtual, tinta e papel, ou nossos cérebros.

Portanto, a intuição matemática é uma espécie de intuição física. A intuição física é um conjunto de regras práticas, algumas talvez inatas, muitas construídas na infância, sobre como o mundo físico se comporta. Por exemplo, temos intuições de que existem coisas como objetos físicos, e que eles têm atributos definidos, como forma, cor, peso e posição no espaço, alguns dos quais existem mesmo quando os objetos não são observados. Outra é que existe uma variável física (o tempo) com relação à qual os atributos mudam, mas que não obstante os objetos podem reter sua identidade

no tempo. Outra é que os objetos interagem e que isso pode mudar alguns dos seus atributos. A intuição matemática se preocupa com a maneira como o mundo físico pode exibir as propriedades de entidades abstratas. Uma dessas intuições é a de uma lei abstrata, ou pelo menos uma explicação, que está subjacente ao comportamento dos objetos. A intuição de que o espaço admite superfícies fechadas que separam um "dentro" de um "fora" pode ser refinada para a intuição matemática de um conjunto, que divide tudo em membros e não membros do conjunto. Mas um maior refinamento feito pelos matemáticos (começando com a refutação de Russell da teoria dos conjuntos de Frege) mostrou que essa intuição deixa de ser exata quando os conjuntos em questão contêm membros "demais" (um grau excessivo de infinidade de membros).

Mesmo se uma intuição física ou matemática qualquer fosse inata, isso não lhe conferiria autoridade especial. Intuição inata não pode ser tomada como um substituto das "memórias" de Platão do mundo das Formas. Pois é uma observação comum que muitas das intuições criadas em seres humanos por acidentes da evolução são simplesmente falsas. Por exemplo, o olho humano e o software que o controla implicitamente incorporam a falsa teoria de que a luz amarela consiste em uma mistura da luz vermelha com a verde (no sentido de que a luz amarela nos dá exatamente a mesma sensação que uma mistura de luz vermelha com luz verde). Na verdade, os três tipos de luz têm frequências diferentes e não podem ser criados por meio de mistura de luzes de outras frequências. O fato de uma mistura de luz vermelha e verde parecer para nós como sendo luz amarela não tem nada a ver com as propriedades da luz, mas é uma propriedade dos nossos olhos. É o resultado de um compromisso de projeto que ocorreu em alguma ocasião durante a evolução dos nossos distantes ancestrais. É possível (embora eu não acredite) que a geometria euclidiana ou a lógica aristotélica estejam de alguma forma construídas na estrutura do nosso cérebro, como acreditava o filósofo Immanuel Kant. Mas isso não implicaria logicamente que elas seriam verdadeiras. Mesmo na eventualidade ainda mais implausível de termos intuições inatas das quais, por constituição, somos incapazes de nos livrar, essas intuições ainda não seriam necessariamente verdades.

A estrutura da realidade tem então uma disposição mais unificada do que teria sido possível se o conhecimento matemático tivesse sido verificável com certeza, e portanto fosse hierárquico, como tem sido aceito tradicionalmente. As entidades matemáticas são parte da estrutura da

realidade porque são complexas e autônomas. O tipo de realidade que elas formam é, em alguns aspectos, como o reino das abstrações imaginado por Platão ou Penrose: embora sejam, por definição, intangíveis, existem objetivamente e têm propriedades que são independentes das leis da física. No entanto, é a física que nos permite obter conhecimento desse reino. E ela impõe restrições severas. Enquanto tudo na realidade física é compreensível, as verdades matemáticas compreensíveis são precisamente a minoria infinitesimal que corresponde exatamente a alguma verdade física — como o fato de que, se certos símbolos feitos de tinta sobre papel forem manipulados de certas maneiras, aparecerão outros símbolos. Isto é, eles são as verdades que podem ser reproduzidas na realidade virtual. Não temos outra escolha além de assumir que as entidades matemáticas incompreensíveis também são reais, porque aparecem de modo inextricável nas nossas explicações das entidades compreensíveis.

Existem objetos físicos — como dedos, computadores e cérebros — cujo comportamento pode modelar o comportamento de certos objetos abstratos. Desta forma, a estrutura da realidade física nos oferece uma janela para o mundo das abstrações. É uma janela muito estreita que oferece apenas uma faixa limitada de perspectivas. Algumas das estruturas que vemos lá fora, como os números naturais ou as regras da inferência da lógica clássica, parecem ser importantes ou “fundamentais” para o mundo abstrato, da mesma forma que as profundas leis da natureza são fundamentais para o mundo físico. Mas isso pode ser uma aparência enganosa, pois o que estamos vendo realmente é apenas que algumas estruturas abstratas são fundamentais para o nosso entendimento das abstrações. Não temos motivo para supor que essas estruturas são objetivamente significantes no mundo abstrato. O que acontece é apenas que algumas entidades abstratas estão mais perto e mais facilmente visíveis da nossa janela do que outras.

Terminologia Empregada no Capítulo

Matemática — O estudo das verdades absolutamente necessárias.

Prova — Uma maneira de estabelecer a verdade das proposições matemáticas.

(Definição tradicional:) — Uma sequência de declarações, começando com algumas premissas e terminando com a conclusão desejada e satisfazendo certas “regras de inferência”.

(Definição melhor:) — Um cálculo que modela as propriedades de alguma entidade abstrata e cujo resultado estabelece que a entidade abstrata

tem dada propriedade. Intuição matemática

(Tradicionalmente:) — Uma fonte definitiva e autoevidente de justificação para o raciocínio matemático.

(Verdadeiramente:) — Um conjunto de teorias (conscientes e inconscientes) sobre o comportamento de certos objetos físicos cujo comportamento modela o de entidades abstratas interessantes.

Intuicionismo — A doutrina que diz que todo raciocínio sobre entidades abstratas é não confiável, exceto quando baseado em intuição direta e autoevidente. Esta é a versão matemática do solipsismo.

Décimo problema de Hilbert — "Estabelecer de uma vez por todas a certeza dos métodos matemáticos" encontrando um conjunto de regras de inferência suficiente para todas as provas válidas e então provando que essas regras são consistentes por seus próprios padrões.

Teorema da incompletude de Gödel — Uma prova de que o décimo problema de Hilbert não pode ser solucionado. Para qualquer conjunto de regras de inferência, existem provas válidas não designadas como válidas por essas regras.

Resumo

Entidades abstratas complexas e autônomas existem objetivamente e são parte da estrutura da realidade. Existem verdades logicamente necessárias sobre essas entidades e essas verdades constituem a matéria de estudo da matemática. No entanto, essas verdades não podem ser conhecidas com certeza. Provas não conferem certeza às suas conclusões. A validade de determinada forma de prova depende da verdade nas nossas teorias do comportamento dos objetos com os quais realizamos a prova. Portanto, o conhecimento matemático é inerentemente derivativo, dependendo inteiramente do nosso conhecimento de física. As verdades matemáticas compreensíveis são precisamente a minoria infinitesimal que pode ser reproduzida na realidade virtual. Mas as entidades matemáticas incompreensíveis (por exemplo, ambientes Cantgotu) também existem, porque aparecem inextricavelmente nas nossas explicações das entidades compreensíveis.

Eu disse que a computação sempre foi um conceito quântico, porque a física clássica era incompatível com as intuições que formaram a base da teoria clássica da computação. A mesma coisa é verdadeira para o tempo. Milênios antes da descoberta da teoria quântica, o tempo foi o primeiro conceito quântico.

11 Tempo: o Primeiro Conceito Quântico

Like as the waves make towards the pebbled shore, So do our minutes hasten to their end; Each changing place with that which goes before, In sequent toil all forwards do contend. (Como quando as ondas caminham para a praia de seixos, Também nossos minutos se apressam para o seu final; Cada um trocando de lugar com o que vai antes, Em sucessiva labuta todos os dianteiros contendem.) William Shakespeare (Soneto 60)

Embora seja um dos atributos mais familiares do mundo físico, o tempo tem uma reputação de ser profundamente misterioso. O mistério é parte do próprio conceito de tempo com o qual crescemos. Santo Agostinho, por exemplo, disse:

O que é então o tempo? Se ninguém me pergunta, eu sei; se desejo explicá-lo para alguém que pergunta, eu não sei. (Confissões)

Poucas pessoas acham que a distância é misteriosa, mas todos sabem o que o tempo é. E todos os mistérios do tempo surgem de seu atributo básico de senso comum, ou seja, o momento presente, que chamamos de “agora", não é fixo, mas move-se continuamente em direção ao futuro. Esse movimento é chamado de fluxo do tempo.

Veremos que não existe essa coisa que chamamos de fluxo de tempo. No entanto, essa ideia é puro senso comum. Nós achamos que ela é tão certa que a aceitamos na própria estrutura da nossa linguagem. Em “A Comprehensive Grammar of the English Language” (Gramática Abrangente da Língua Inglesa), Randolph Quirk e seus coautores explicam o conceito de senso comum do tempo com a ajuda do diagrama mostrado na Figura 11.1. Cada ponto da linha representa um momento fixo e determinado. O triângulo “V” indica onde está localizado sobre a linha “o ponto continuamente móvel, o momento atual”. É suposto que se move da esquerda para a direita. Algumas pessoas, como Shakespeare no soneto citado anteriormente, pensam em determinados eventos como sendo “fixos”, e a própria linha como passando por eles (da direita para a esquerda na Figura 11.1), de forma que os momentos do futuro passam pelo momento presente e tornam-se momentos passados.

O que queremos dizer com “o tempo pode ser considerado uma linha?” Querermos dizer que, da mesma forma que uma linha pode ser considerada uma sequência de pontos em posições diferentes, qualquer objeto em

movimento ou em transformação pode ser considerado uma sequência de versões “instantâneas” e imóveis de si mesmo, uma a cada momento. Dizer que cada ponto da linha representa determinado momento é dizer que podemos imaginar todos os instantâneos empilhados ao longo da linha, como na Figura 11.2. Alguns deles mostram a seta em rotação como estava no passado, alguns a mostram como estará no futuro, e um deles — aquele para o qual o V em movimento aponta — mostra a seta como está agora, embora um momento mais tarde essa determinada versão da seta estará no passado, porque o V terá sido deslocado. As versões instantâneas de um objeto coletivamente são o objeto que se move da mesma forma que uma sequência de figuras estáticas projetadas em uma tela coletivamente é uma figura em movimento. Individualmente, nenhuma delas nunca muda. A mudança consiste em serem elas designadas (“iluminadas”) em sequência pelo V em movimento (o “projetor de cinema”) de maneira que, uma por uma, elas tomam a vez de estar no presente.

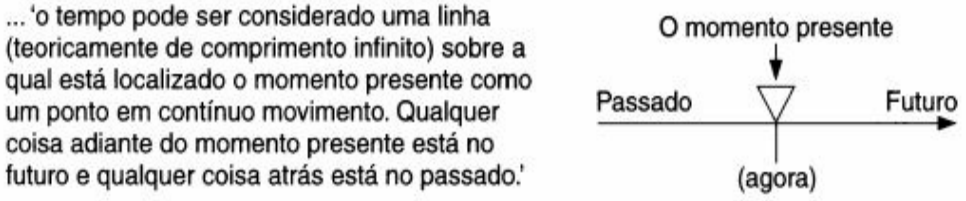


Figura 11.1 *O conceito de senso comum de tempo que é aceito na língua inglesa*[1] (*baseado em* A Comprehensive Grammar of the English Language, *de Quirk et al., p. 175*).

O conceito de senso comum de tempo que é aceito na língua inglesa (baseado em A Comprehensive Grammar of the English Language, de Quirk et a!., p. 175).

Os gramáticos de hoje em dia tentam não fazer julgamentos de valores sobre como a língua é usada; eles tentam somente registrá-la, analisá-la e entendê-la. Portanto, Quirk et al. não devem de modo algum ser culpados pela qualidade da teoria do tempo que descrevem. Eles não afirmam que é uma boa teoria. Afirmam somente, e acho que corretamente, que é a nossa teoria. Infelizmente, não é uma boa teoria. Colocando objetivamente, o motivo pelo qual a teoria de senso comum do tempo é inerentemente misteriosa é que ela é inerentemente absurda. Não é apenas que ela é realmente inexata. Veremos que ela não tem sentido, mesmo em seus

próprios termos.

Talvez isso seja surpreendente. Nós nos acostumamos a modificar nosso senso comum para conformá-lo às descobertas científicas. O senso comum frequentemente acaba sendo falso, até muitíssimo falso. Mas é inusitado que o senso comum seja absurdo em uma questão de experiência diária. No entanto, foi isso o que aconteceu aqui. Considere a Figura 11.2 mais uma vez. Ela ilustra o movimento de duas entidades. Uma delas é uma seta girando, mostrada como uma sequência de instantâneos. A outra é o "momento presente" em movimento, passando pela figura da esquerda para a direita. Mas o movimento do momento presente não é mostrado na figura como uma sequência de instantâneos. Em vez disso, um determinado momento é escolhido pelo V, realçado com linhas mais escuras e rotulado com exclusividade "(agora)". Assim, mesmo que "agora" seja considerado pela legenda como se deslocando através da figura, só é mostrado um instantâneo dele, em determinado momento.

O momento presente

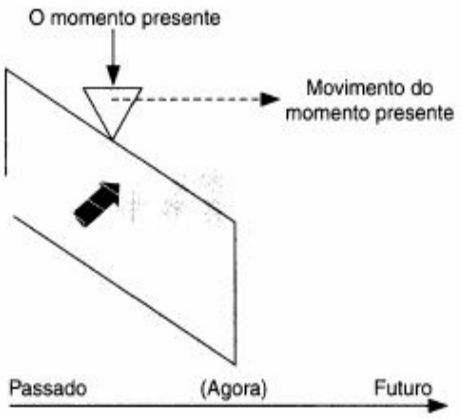


Figura 11.2 *Um objeto em movimento como uma seqüência de "instantâneos", que um a um se tornam o momento presente.*

Por quê? Afinal, toda a questão dessa figura é mostrar o que acontece durante uma extensão de tempo, não apenas em um momento. Se quiséssemos que a figura mostrasse somente um momento, não precisaríamos nos incomodar em mostrar mais de um instantâneo da seta girando. A figura supostamente deve ilustrar a teoria de senso comum de que qualquer objeto em movimento ou em transformação é uma sequência de instantâneos, um para cada momento. Portanto, se o V está se movendo, por que não mostramos uma sequência de instantâneos dele também? O único instantâneo

mostrado deve ser apenas um de muitos que existiriam se essa fosse uma descrição verdadeira de como o tempo funciona. De fato, a figura é positivamente enganosa da forma que é apresentada: ela mostra o V não se movendo, mas vindo a existir em um determinado momento e imediatamente cessando de existir. Se isso fosse verdade, “agora” seria um momento fixo. Não faz diferença que eu tenha acrescentado uma legenda “Movimento do momento presente”, e uma seta pontilhada para indicar que o V está se movendo para a direita. O que a própria figura mostra, e o diagrama de Quirk et al. também (Figura 11.1), é o V nunca alcançando em nenhum momento além daquele realçado.

Na melhor das hipóteses, poder-se-ia dizer que a Figura 11.2 é uma figura híbrida que perversamente ilustra o movimento de duas maneiras diferentes. Em relação à seta em movimento, ela ilustra a teoria de senso comum do tempo. Mas apenas declara que o momento presente está se movendo, enquanto o ilustra como não se movendo. Como devemos alterar a figura de maneira que ela ilustre a teoria de senso comum do tempo em relação ao deslocamento do momento presente e também ao movimento da seta? Incluindo mais instantâneos do “V”, um para cada momento, cada um indicando onde está “agora” naquele momento. E onde é isso? Obviamente, a cada momento “agora” é esse momento. Por exemplo, à meia-noite o “V” deve apontar para o instantâneo da seta tomado à meia-noite; à 1:00 da manhã ele deve apontar para o instantâneo da 1:00 hora e assim por diante. Portanto, a ilustração deveria ser parecida com a Figura 11.3.

Essa figura corrigida ilustra o movimento satisfatoriamente, mas agora ficamos com um conceito de tempo seriamente reduzido. A ideia de senso comum de que um objeto em movimento é uma sequência de versões instantâneas de si mesmo ainda permanece, mas a outra ideia — a do fluxo do tempo — se foi. Nessa figura não existe “ponto movendo-se continuamente, o momento presente”, passando pelos momentos fixos um por um. Não existe processo pelo qual qualquer momento fixo começa no futuro, torna-se o presente e então é relegado ao passado. As múltiplas ocorrências dos símbolos V e “(agora)” não mais distinguem um momento dos outros e, portanto, são supérfluas. A figura ilustraria o movimento da seta girando da mesma forma se os símbolos fossem removidos.

Portanto, não existe “momento presente” único, a não ser subjetivamente. Do ponto de vista de um observador em determinado momento, esse momento é realmente separado e pode ser chamado de

“agora” com exclusividade pelo observador, da mesma forma que qualquer posição no espaço é selecionada como “aqui” do ponto de vista de um observador naquela posição. Mas objetivamente, nenhum momento é privilegiado por ser mais “agora” do que outros, da mesma forma que nenhuma posição é privilegiada por ser mais “aqui” do que as outras. O “aqui” subjetivo pode se mover pelo espaço quando o observador se move. O “agora” subjetivo move-se da mesma forma através do tempo? Afinal, as Figuras 11.1 e 11.2 estão corretas ao ilustrar o tempo do ponto de vista de um observador em determinado momento? Certamente não. Mesmo subjetivamente, “agora” não se move no tempo. Muitas vezes se diz que o presente parece estar se movendo para a frente no tempo porque ele é definido somente com relação à nossa consciência e essa consciência está se movendo para a frente através dos momentos. Mas a nossa consciência não faz isso, nem poderia. Quando dizemos que nossa consciência “parece” passar de um momento para o seguinte, estamos meramente parafraseando a teoria de senso comum do fluxo do tempo. Mas pensar em um único “momento do qual estamos conscientes” movendo-se de um momento para outro não faz mais sentido do que pensar em um único momento presente, ou qualquer outra coisa, fazendo isso. Nada pode mover-se de um momen¬to para outro. Existir em determinado momento significa existir ali para sempre. Nossa consciência existe em todos os nossos momentos (acordados).

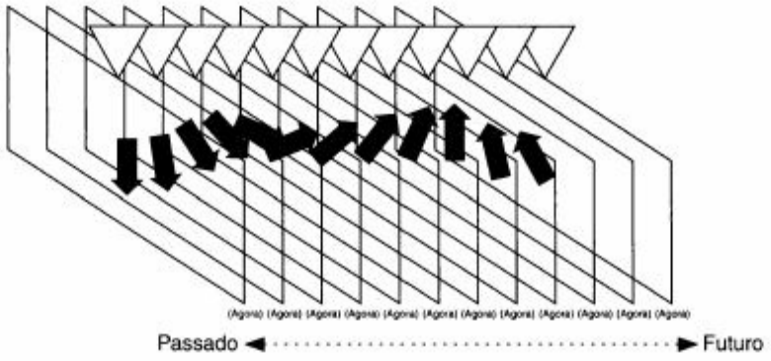


Figura 11.3 *Em cada momento, “agora” é esse momento.*

Reconhecidamente, instantâneos diferentes do observador percebem momentos diferentes como “agora”. Mas isso não significa que a consciência do observador — ou qualquer outra entidade que se move ou que muda — move-se pelo tempo como pretensamente se move o momento presente. Os vários instantâneos do observador não estão no presente um de cada vez. Eles

não são conscientes do seu presente um de cada vez. Todos eles são conscientes e subjetivamente todos estão no presente. Objetivamente, não existe presente.

Nós não sentimos o tempo fluindo ou passando. O que sentimos são diferenças entre nossas percepções presentes e nossas lembranças presentes de percepções passadas. Interpretamos essas diferenças corretamente como evidência de que o universo muda com o tempo. Também as interpretamos, incorretamente, como evidência de que nossa consciência, ou o presente, ou alguma coisa, se move através do tempo.

Se o presente em movimento parasse caprichosamente por um ou dois dias e então começasse a se mover novamente com velocidade dez vezes maior que a anterior, do que seriamos conscientes? Nada de especial — ou melhor, essa pergunta não tem sentido. Não há nada lá que poderia se mover, parar ou fluir, nem poderia coisa alguma ser chamada, com algum significado, de "velocidade" do tempo. Tudo o que existe no tempo supostamente deve tomar a forma de instantâneos inalteráveis ordenados ao longo da linha do tempo. Isso inclui as experiências conscientes de todos os observadores, inclusive sua intuição errônea de que o tempo está "fluindo". Eles podem imaginar um "presente em movimento" viajando ao longo da linha, parando e iniciando ou até voltando para trás ou cessando de existir de uma vez. Mas imaginá-lo não faz com que aconteça. Nada pode se deslocar ao longo da linha. O tempo não pode fluir.

A ideia de fluxo do tempo na verdade pressupõe a existência de um segundo tipo de tempo, fora do tempo de senso comum de sequência de momentos. Se "agora" realmente se movesse de um dos momentos para outro, teria de ser em relação a esse tempo exterior. Mas levar isso a sério conduz a um regresso infinito, pois teríamos de imaginar o próprio tempo exterior como uma sucessão de momentos, com seu próprio "momento presente" que estaria movendo-se em relação a um tempo ainda mais exterior, e assim por diante. Em cada estágio, o fluxo do tempo não teria sentido, a não ser que o atribuíssemos ao fluxo de um tempo exterior, ""ad infinitum"". Em cada estágio teríamos um conceito que não faria sentido; e toda a hierarquia infinita também não teria sentido.

A origem desse tipo de engano é que estamos acostumados ao tempo como uma estrutura exterior a qualquer entidade física que possamos considerar. Estamos habituados a imaginar qualquer objeto físico como potencialmente em mudança e portanto existindo como uma sequência de

versões de si mesmo em momentos diferentes. Mas a própria sequência de momentos, em ilustrações como as das Figuras 11.1 a 11.3, é uma entidade excepcional. Ela não existe dentro da estrutura do tempo — ela è a estrutura do tempo. Como não existe tempo fora dela, é incoerente imaginá-la mudando ou existindo em mais de uma versão consecutiva. Isso torna essas figuras difíceis de entender. A própria figura, como qualquer outro objeto físico, não existe durante um período de tempo e não consiste em múltiplas versões de alguma coisa — existe apenas em uma versão. Nenhuma figura exata da estrutura do tempo pode ser uma figura em movimento ou em transformação. Ela deve ser estática. Mas há uma dificuldade psicológica inerente em aceitar isto. Embora a figura seja estática, não podemos entendê-la estaticamente. Ela mostra uma sequência de momentos simultaneamente na página e, para relacionar isso com a nossa experiência, o foco da nossa atenção deve se deslocar ao longo da sequência. Por exemplo, poderíamos olhar para um instantâneos e levá-lo a representar “agora”, e um momento mais tarde olhar para um instantâneo à direita dele e pensar nisso como representando o novo “agora”. Então tendemos a confundir o movimento autêntico do nosso foco de atenção através de uma simples figura, como movimento impossível de alguma coisa através de momentos reais. Isso é feito facilmente.

Mas há mais nesse problema do que a dificuldade de ilustrar a teoria de senso comum do tempo. A própria teoria contém um equívoco substantivo e profundo: ela não consegue decidir se o presente é, objetivamente, um único momento ou muitos, e assim, por exemplo, se a Figura 11.1 ilustra um momento ou muitos. O senso comum quer que o presente seja um único momento, de forma a permitir o fluxo do tempo, para que o presente passe através dos momentos do passado para o futuro. Mas também quer que o tempo seja uma sequência de momentos, com todos os movimentos e mudanças consistindo em diferenças entre versões de uma entidade em momentos diferentes. E isso significa que os próprios momentos são inalteráveis. Portanto, determinado momento não pode se tornar o presente ou parar de ser o presente, pois isso seriam mudanças. Portanto, objetivamente o presente não pode ser um único momento.

O motivo para nos apegarmos a esses dois conceitos incompatíveis — o presente em movimento e a sequência de momentos inalteráveis — é que precisamos dos dois, ou melhor, achamos que precisamos. Continuamente invocamos ambos na vida diária, embora nunca ao mesmo tempo. Ao

descrever eventos, dizendo quando as coisas acontecem, pensamos em termos de uma sequência de momentos inalteráveis; ao explicar eventos como causas e efeitos uns dos outros, pensamos em termos de presente em movimento.

Por exemplo, ao dizer que Faraday descobriu a indução eletromagnética "em 1831", estamos atribuindo esse evento a certa faixa de momentos. Isto é, estamos especificando em qual conjunto de instantâneos, no longo feixe de instantâneos da história mundial, essa descoberta deve ser encontrada. Nenhum fluxo de tempo está implicado quando dizemos quando alguma coisa aconteceu, não mais do que um "fluxo de distância" está implicado quando dizemos onde aconteceu. Mas tão logo dizemos por que alguma coisa aconteceu, invocamos o fluxo do tempo. Se dizemos que devemos nossos motores elétricos e dínamos em parte a Faraday e que as repercussões de sua descoberta estão sendo sentidas até hoje, temos em mente uma imagem das repercussões começando em 1831 e passando consecutivamente por todos os momentos do resto do século XIX, chegando ao século XX e permitindo a existência de coisas como as usinas de força. Se não formos cuidadosos, pensaremos no século XX como inicialmente "ainda não afetado" pelo significativo evento de 1831 e sendo "alterado" pelas repercussões à medida que elas passassem em seu caminho para o século XXI e além. Mas normalmente somos cuidadosos e evitamos esse pensamento incoerente nunca usando as duas partes da teoria de senso comum do tempo simultaneamente. Só fazemos isso quando pensamos no próprio tempo e então nos maravilhamos com o mistério de tudo isso! Talvez "paradoxo" seja uma palavra melhor do que mistério, pois temos um conflito clamoroso entre duas ideias aparentemente autoevidentes. Ambas não podem ser verdadeiras. Veremos que nenhuma delas é verdadeira.

Nossas teorias da física, ao contrário do senso comum, são coerentes e chegaram a isto descartando a ideia de fluxo do tempo. Reconhecidamente, os físicos conversam sobre o fluxo do tempo como qualquer outra pessoa. Por exemplo, em seu livro Principia, no qual descreveu os princípios da mecânica e gravitação newtonianas, Newton registrou o seguinte:

Tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e pela sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com nenhuma coisa externa.

Mas Newton sabiamente não faz nenhuma tentativa de traduzir a sua afirmativa de que o tempo flui para a forma matemática ou de tirar dela qualquer conclusão. Nenhuma das teorias físicas de Newton se refere ao

fluxo do tempo, nem alguma teoria física subsequente se refere ou é compatível com o fluxo do tempo.

Portanto, por que Newton achou necessário dizer que o tempo “flui uniformemente”? Não há nada de errado com “uniformemente”: pode-se interpretar isso como significando que as medições de tempo são as mesmas para observadores em posições diferentes e diferentes estados de movimento. Essa é uma afirmativa substantiva (a qual sabemos, desde Einstein, que são inexatas). Mas poderia facilmente ter sido declarado, como eu declarei, sem dizer que o tempo flui. Creio que Newton estava usando deliberadamente a linguagem familiar de tempo sem pretender dar o seu significado literal, da mesma forma que poderia ter falado informalmente sobre o Sol “nascendo”. Ele precisava comunicar ao leitor que se envolvesse nesse trabalho revolucionário que não havia nada de novo ou sofisticado no conceito newtoniano de tempo. O Principia atribui a muitas palavras, como “força” e “massa”, significados técnicos precisos um tanto diferentes dos seus significados de senso comum. Mas os números referidos como “tempos” são simplesmente os tempos do senso comum, que encontramos em relógios e calendários, e o conceito de tempo no Principia é o de senso comum.

Apenas ele não flui. Na física newtoniana, o tempo e o movimento aparecem como na Figura 11.3. Uma pequena diferença é que tenho desenhado momentos sucessivos separados uns dos outros, mas em toda a física prequântica isso é uma aproximação, porque o tempo é contínuo. Devemos imaginar infinitos instantâneos infinitamente finos interpolados continuamente entre os que desenhei. Se cada instantâneo representa tudo através do todo do espaço que existe fisicamente em determinado momento, podemos pensar nos instantâneos como colados em suas faces para formar um único bloco imutável contendo tudo o que acontece no espaço e no tempo (Figura 11.4), isto é, o todo da realidade física. Uma deficiência inevitável deste tipo de diagrama é que os instantâneos de espaço a cada momento são mostrados como bidimensionais, ao passo que na realidade eles são tridimensionais. Cada um deles é espaço em determinado momento. Assim, estamos tratando o tempo como uma quarta dimensão, análoga às três dimensões do espaço da geometria clássica. Espaço e tempo, considerados juntos desta forma como uma entidade quadridimensional, são chamados de espaço-tempo.

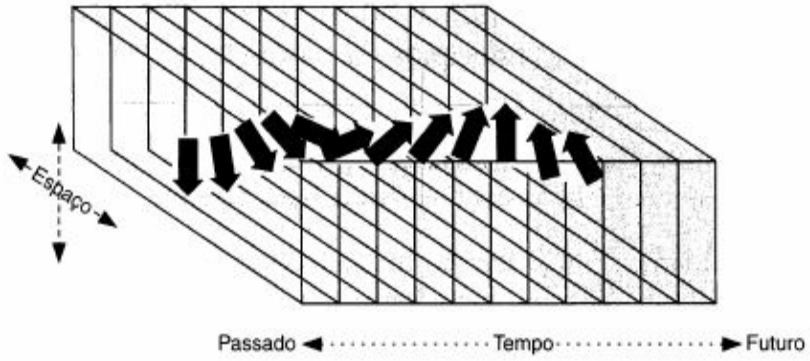


Figura 11.4 *Espaço-tempo, considerados como momentos sucessivos.*

Na física newtoniana essa interpretação geométrica quadridimensional do tempo era opcional, mas na teoria da relatividade de Einstein tornou-se parte indispensável da teoria. Isso porque, de acordo com a relatividade, observadores movendo-se com velocidades diferentes não concordam com quais eventos são simultâneos. Isto é, eles não concordam sobre quais eventos deveriam aparecer no mesmo instantâneo. Portanto, eles percebem o espaço-tempo como fatiado de maneira diferente em "momentos". Não obstante, se cada um deles empilhasse seus instantâneos da maneira indicada na Figura 11.4, os espaços-tempos que constituiriam seriam idênticos. Portanto, de acordo com a relatividade, os "momentos" mostrados na Figura 11.4 não são características objetivas do espaço-tempo: são apenas a maneira de um observador perceber simultaneidade. Outro observador desenharia as fatias de "agora" com ângulo diferente. Portanto, a realidade objetiva além da Figura 11.4, ou seja, o espaço-tempo e seu conteúdo físico, poderia ser mostrada como na Figura 11.5.

O espaço-tempo é às vezes chamado de "universo em bloco", porque dentro dele o todo da realidade física — passado, presente e futuro — é disposto de uma vez para sempre, congelado em um único bloco quadridimensional. Em relação ao espaço-tempo, nada se move nunca. O que chamamos de "momentos" são certas fatias do espaço-tempo e, quando o conteúdo dessas fatias é diferente de uma para outra, chamamos de mudança ou movimento através do espaço.

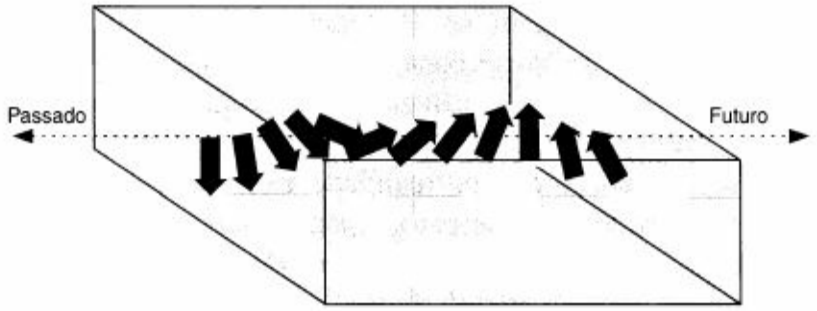


Figura 11.5 *Visão de espaço-tempo de um objeto em movimento.*

Como eu disse, pensamos no fluxo de tempo em conexão com causas e efeitos. Pensamos em causas precedendo seus efeitos; imaginamos o presente em movimento chegando às causas antes de chegar aos efeitos e os efeitos fluindo para diante com o momento presente. Filosoficamente, os processos de causa e efeito mais importantes são nossas decisões conscientes e as consequentes ações. A visão de senso comum é que temos livre-arbítrio: que às vezes estamos em posição de afetar eventos futuros (como o movimento dos nossos próprios corpos) em qualquer um de vários modos possíveis e de escolher qual ocorrerá; ao passo que, em contraste, nunca estamos em posição de afetar o passado. (Discutirei o livre-arbítrio no Capítulo 13.) O passado é fixo; o futuro é aberto. Para muitos filósofos, o fluxo do tempo é o processo no qual o futuro aberto torna-se, momento a momento, o passado fixo. Outros dizem que eventos alternativos a cada momento no futuro são possibilidades e que o fluxo do tempo é o processo pelo qual, momento a momento, uma dessas possibilidades torna-se real (de forma que, de acordo com essas pessoas, o futuro não existe até que o fluxo do tempo o atinja e o transforme em passado). Mas, se o futuro é realmente aberto (e é!), então isto pode não ter nada a ver com o fluxo do tempo, pois não existe fluxo de tempo. Na física do espaço-tempo (que é efetivamente toda a física prequântica , começando com Newton) o futuro não é aberto. Ele está lá, com conteúdo fixo definido, da mesma forma que o passado e o presente. Se determinado momento no espaço-tempo estivesse “aberto” (em qualquer sentido), ele necessariamente permaneceria aberto quando se tornasse o presente e o passado, pois momentos não podem mudar.

Subjetivamente, o futuro de dado observador pode ser considerado “aberto do ponto de vista desse observador” porque não se pode medir ou observar o próprio futuro. Mas abertura nesse sentido subjetivo não permite escolhas. Se você tem um bilhete da loteria da semana passada, mas ainda

não descobriu se ganhou, o resultado ainda está aberto do seu ponto de vista, embora objetivamente seja fixo. Mas, subjetiva ou objetivamente, você não pode mudá-lo. As causas que ainda não o afetaram também não podem mais fazer isso. A teoria de senso comum do livre-arbítrio diz que na semana passada, quando você ainda tinha escolha de comprar um bilhete ou não, o futuro ainda estava objetivamente aberto e você podia realmente ter escolhido qualquer uma de duas ou mais opções. Mas isso é incompatível com o espaço-tempo. Portanto, de acordo com a física do espaço-tempo, a abertura do futuro é uma ilusão e, portanto, causação e livre-arbítrio podem ser nada mais do que ilusões também. Precisamos da crença, e nos apegamos a ela, de que o futuro pode ser afetado pelos acontecimentos presentes e principalmente pelas nossas escolhas; mas talvez isso seja apenas a nossa maneira de lidar com o fato de que não conhecemos o futuro. Na realidade, nós não fazemos escolhas. Mesmo enquanto pensamos que estamos considerando uma escolha, seu resultado já está lá, na fatia apropriada do espaço-tempo, imutável como qualquer outra coisa no espaço-tempo e impenetrável às nossas deliberações. Parece que as próprias deliberações são imutáveis e já têm existência em seus momentos indicados mesmo antes de as conhecermos.

Ser o “efeito” de alguma causa significa ser afetado por essa causa, ser alterado por ela. Assim, quando a física do espaço-tempo nega a realidade do fluxo do tempo, logicamente ela também não pode acomodar as noções de senso comum de causa e efeito. Pois no universo em bloco nada é mutável: uma parte do espaço-tempo não pode alterar outra, como uma parte de um objeto índimensional fixo não pode alterar outra.

Acontece que todas as teorias fundamentais da era da física do espaço-tempo tinham como propriedade que, dado tudo o que acontece antes de momento específico, as leis da física determinam o que acontece em todos os momentos subsequentes. A propriedade de instantâneos serem determinados por outros instantâneos é chamada determinismo. Na física newtoniana, por exemplo, se a qualquer momento se souber a posição e velocidade de todas as massas em um sistema isolado, como o sistema solar, pode-se, em princípio, calcular (prever) onde essas massas estarão em todos os tempos a partir daquele momento. Pode-se também, em princípio, calcular (deduzir do passado) onde essas massas estavam em todos os tempos anteriores.

As leis da física que determinam um instantâneo a partir de outro são a “cola” que mantém os instantâneos unidos como espaço-tempo. Vamos

imaginar a nós mesmos, mágica e impossivelmente, fora do espaço-tempo (e portanto em nosso próprio tempão externo, independentemente daquele dentro do espaço-tempo). Vamos fatiar o espaço-tempo em instantâneos de espaço a cada momento como é percebido por determinado observador dentro do espaço-tempo, depois embaralhar os instantâneos e colá-los novamente em uma nova ordem. Poderíamos dizer, de fora, que isso não é o espaço-tempo real? Quase com certeza. Primeiro, porque no espaço-tempo embaralhado os processos físicos não seriam contínuos. Os objetos instantaneamente deixariam de existir em um ponto e reapareceriam em outro. Segundo, e mais importante, as leis da física não mais se manteriam. Pelo menos as leis reais da física não mais se manteriam. Existiria um conjunto de leis diferente que levaria em conta o embaralhamento, explícita ou implicitamente, e descreveria corretamente o espaço-tempo embaralhado.

Portanto, para nós a diferença entre o espaço-tempo embaralhado e o real seria muito grande. Mas o que dizer dos habitantes? Eles saberiam dizer qual é a diferença? Estamos chegando perto do absurdo aqui — o absurdo familiar da teoria de senso comum do tempo. Mas seja paciente comigo e iremos contorná-lo. É claro que os habitantes não poderiam dizer qual é a diferença. Se pudessem, eles o fariam. Por exemplo, eles comentariam a existência de descontinuidades em seu mundo e publicariam trabalhos científicos sobre elas, isto é, se pudessem sobreviver no espaço-tempo embaralhado. Mas do nosso ponto de vista mágico, podemos ver que eles sobrevivem e também seus trabalhos científicos. Podemos ler esses trabalhos e ver que eles ainda contêm somente observações do espaço-tempo original. Todos os registros dentro do espaço-tempo dos eventos físicos, incluindo os que estão nas memórias e percepções dos observadores conscientes, são idênticos aos do espaço-tempo original. Nós apenas embaralhamos os instantâneos, não os alteramos internamente, de forma que os habitantes ainda os percebem na ordem original.

Assim, em termos de física real — como é percebida pelos habitantes do espaço-tempo — todo esse fatiar e colar de novo o espaço-tempo não tem significado. Não somente o espaço-tempo embaralhado, mas até a coleção de instantâneos que não foram colados, é fisicamente idêntico ao espaço-tempo original. Nós ilustramos todos os instantâneos colados uns aos outros em sua ordem correta porque isso representa os relacionamentos entre eles que são determinados pelas leis da física. Uma figura dos instantâneos colados em ordem diferente representaria os mesmos eventos físicos a mesma história —

mas representaria um tanto erroneamente as relações entre esses eventos. Portanto, os instantâneos têm uma ordem intrínseca, definida por seu conteúdo e pelas leis verdadeiras da física. Qualquer um dos instantâneos, junto com as leis da física, não somente determina o que são todos os outros, mas também a sua ordem e também seu próprio lugar na sequência. Em outras palavras, cada instantâneo tem um "carimbo de tempo" codificado em seu conteúdo físico.

É assim que deve ser, se o conceito de tempo tiver de ser libertado do erro de recorrer a uma estrutura dominante do tempo externa à realidade física. O carimbo de tempo de um instantâneo é a leitura em algum relógio natural existente dentro desse universo. Em alguns instantâneos — os que contêm civilizações humanas, por exemplo existem relógios verdadeiros. Em outros existem variáveis físicas — como a composição química do Sol ou de toda a matéria no espaço — que podem ser consideradas relógios porque assumem valores definidos e distintos em instantâneos diferentes, pelo menos em certa região do espaço-tempo. Podemos padronizá-los e calibrá-los para que concordem uns com os outros onde eles se sobrepõem.

Podemos reconstituir o espaço-tempo usando a ordem intrínseca determinada pelas leis da física. Começamos com qualquer um dos instantâneos. Depois calcularmos como deveriam parecer os instantâneos imediatamente precedentes e seguintes, localizamos esses instantâneos a partir da coleção restante e os colamos em qualquer dos lados do instantâneo original. A repetição do processo constrói todo o espaço-tempo. Esses cálculos são complexos demais para ser efetuados na vida real, mas são legítimos em um experimento de pensamento no qual nos imaginamos destacados do mundo físico real. (Também, falando estritamente, na física prequântica haveria uma infinidade contínua de instantâneos, de forma que o processo descrito teria de ser substituído por um processo limite no qual o espaço-tempo é montado em um número infinito de etapas; mas o princípio é o mesmo.)

A previsibilidade de um evento a partir de outro não implica que esses eventos sejam causa e efeito. Por exemplo, a teoria da eletrodinâmica diz que todos os elétrons têm a mesma carga. Portanto, usando essa teoria podemos fazer — e muitas vezes fazemos — previsões do resultado de uma medição em um elétron a partir do resultado de uma medição em outro. Mas nenhum dos resultados foi causado pelo outro. Na verdade, até onde sabemos, o valor da carga do elétron não foi causado por nenhum processo físico. Talvez seja

“causado” pelas próprias leis da física (embora as leis da física que conhecemos atualmente não prevejam a carga do elétron; elas dizem meramente que todos os elétrons têm a mesma carga). Mas de qualquer forma, aqui está um exemplo de eventos (resultados de medições em elétrons) que são reciprocamente previsíveis, mas não fazem contribuição causal de um para outro.

Aqui está outro exemplo. Se observarmos a localização de uma peça de um quebra-cabeça completamente montado e soubermos qual é a forma de todas as peças e que elas estão montadas da maneira adequada, poderemos prever onde estão todas as outras peças. Mas isso não significa que o lugar em que está a peça que observamos foi a causa de as outras peças estarem onde estão. Se essa causação está envolvida, depende de como o quebra-cabeça, como um todo, chegou lá. Se a peça que observamos foi colocada primeiro, ela realmente estava entre as causas das outras peças estarem onde estão. Se qualquer outra peça foi colocada primeiro, a posição da peça que observamos foi um efeito disso, não uma causa. Mas se o quebra-cabeça foi criado com um único movimento de um cortador de quebra-cabeças e nunca foi desmontado, então nenhuma das posições das peças é causa ou efeito das outras. Elas não foram montadas em qualquer ordem, mas criadas simultaneamente, em posições tais que as regras do quebra-cabeça já estavam sendo obedecidas, o que tornou essas posições mutuamente previsíveis. Não obstante, nenhuma delas causou as outras.

O determinismo das leis físicas sobre eventos no espaço-tempo é como a previsibilidade de um quebra-cabeça de montar corretamente montado. As leis da física determinam o que acontece em um momento a partir do que acontece em outro, da mesma forma que as regras do quebra-cabeça determinam a posição de algumas peças a partir da posição de outras. Mas, da mesma forma que com o quebra-cabeça, se os eventos em momentos diferentes causam uns aos outros ou não, depende de como os momentos chegaram lá. Não podemos dizer apenas olhando para um quebra-cabeça se ele chegou lá por ter sido colocado peça por peça. Mas com o espaço-tempo sabemos que não tem sentido um momento ser “colocado” depois de outro, pois isso seria o fluxo do tempo. Portanto, sabemos que, mesmo que alguns eventos possam ser previsíveis a partir de outros, nenhum evento no espaço-tempo causou outro. Deixe-me enfatizar mais uma vez que tudo isso está de acordo com a física prequântica , na qual tudo o que acontece, acontece no espaço-tempo. O que estamos vendo é que o espaço-tempo é incompatível

com a existência de causa e efeito. Não é que as pessoas estejam enganadas quando dizem que certos eventos físicos são causas e efeitos uns dos outros. É que essa intuição é incompatível com as leis da física do espaço-tempo. Mas está tudo bem, porque a física do espaço-tempo é falsa.

No Capítulo 8 eu disse que é preciso satisfazer duas condições para que uma entidade seja a causa da sua própria replicação: primeira, que essa entidade seja na verdade replicada; segunda, que a maioria das variações dela, na mesma situação, não sejam replicadas. Essa definição incorpora a ideia de que uma causa é algo que faz diferença para seus efeitos e também funciona para a causação em geral. Para que X seja uma causa de Y, duas condições devem ser satisfeitas: primeira, que tanto X quanto Y aconteçam; segunda, que Y não teria acontecido se X tivesse sido diferente. Por exemplo, a luz do Sol foi uma causa da vida na Terra porque tanto uma quanto a outra realmente ocorreram na Terra e porque a vida não teria evoluído na ausência da luz do Sol.

Assim, o raciocínio sobre causas e efeitos também é inevitavelmente sobre variantes das causas e efeitos. Sempre se diz o que teria acontecido se, as outras coisas permanecendo iguais, tal e tal evento tivesse sido diferente. Um historiador poderia julgar que “se Faraday tivesse morrido em 1830, então a tecnologia estaria atrasada 20 anos”. O significado desse julgamento parece perfeitamente claro e, como na verdade Faraday não morreu em 1830, mas descobriu a indução eletromagnética em 1831, parece também muito plausível. É equivalente a dizer que o progresso tecnológico que houve foi em parte causado pela descoberta de Faraday e, portanto, também pela sua sobrevivência. Mas o que significa, no contexto da física do espaço-tempo, raciocinar sobre o futuro de eventos não existentes? Se no espaço-tempo não existe o evento da morte de Faraday em 1830, também não existe sua consequência. Certamente podemos imaginar um espaço-tempo que contenha esse evento; mas então, como estamos apenas imaginando, podemos também imaginar que ele contém qualquer consequência que quisermos. Podemos imaginar, por exemplo, que a morte de Faraday foi seguida de uma aceleração do progresso tecnológico. Poderíamos tentar contornar essa ambiguidade imaginando somente espaços-tempos nos quais, embora o evento em questão seja diferente do que é no espaço-tempo real, as leis da física fossem as mesmas. Não está claro o que justifica restringir nossa imaginação dessa maneira, mas de qualquer forma, se as leis da física são as mesmas, o evento em questão não poderia ter sido diferente, porque as leis o

determinam sem ambiguidade da história anterior. Portanto, a história anterior deveria ter sido imaginada como sendo diferente também. Quão diferente? O efeito da nossa variação imaginada na história depende criticamente do que achamos que significa “as outras coisas permanecendo iguais”. E isso é irredutivelmente ambíguo, pois existem infinitos meios de imaginar um estado de coisas antes de 1830 que poderia ter levado à morte de Faraday naquele ano. Alguns deles indubitavelmente teriam levado a um progresso tecnológico mais rápido e alguns a um progresso mais lento. A qual deles estamos nos referindo na declaração “se... então...”? Qual deles conta como “as outras coisas permanecendo iguais”? Por mais que tentemos, não teremos sucesso em resolver essa ambiguidade dentro da física do espaço-tempo. Não há meios de evitar o fato de que no espaço-tempo acontece exatamente uma coisa na realidade, e tudo mais é fantasia.

Somos obrigados a concluir que, na física do espaço-tempo, as declarações condicionais cuja premissa é falsa (“se Faraday tivesse morrido em 1830...”) não têm significado. Os lógicos chamam essas declarações de condicionais contrafactuais, e seu “status” é um paradoxo tradicional. Todos nós sabemos o que significam essas declarações, no entanto logo que tentamos exprimir seu significado com clareza ele parece evaporar. A origem desse paradoxo não está na lógica ou na linguística, está na física — na falsa física do espaço-tempo. A realidade física não é um espaço-tempo. É uma entidade muito maior e mais diversa, o multiverso. Em uma primeira aproximação, o multiverso é como um grande número de espaços-tempos coexistentes e ligeiramente interativos. Se o espaço-tempo é como uma pilha de instantâneos, cada instantâneo sendo o todo do espaço em um momento, o multiverso é como uma vasta coleção dessas pilhas. Mesmo esta (como veremos) ligeiramente inexata imagem do multiverso já pode acomodar causas e efeitos. Pois no multiverso, quase certamente existem universos nos quais Faraday morreu em 1830, e é uma questão de fato (não fato observável, mas fato objetivo, entretanto) se o progresso tecnológico nesses universos foi ou não atrasado em relação ao nosso. Não há nada de arbitrário sobre a quais variações do nosso universo se refere o contrafactual “se Faraday tivesse morrido em 1830...”: ele se refere às variações que realmente ocorrem em algum lugar no multiverso. Isso é o que resolve a ambiguidade. Apelar para universos imaginários não funciona, porque podemos imaginar qualquer universo que quisermos, em qualquer quantidade. Mas no multiverso, os universos estão presentes em proporções definidas, portanto tem sentido dizer

que certos tipos de evento são “muito raros” ou “muito comuns” no multiverso e que alguns eventos seguem outros “na maioria dos casos”. A maioria dos universos logicamente possíveis não estão presentes. Por exemplo, não existem universos em que a carga de um elétron é diferente da do nosso universo ou em que as leis da física quântica não se mantêm. As leis da física implicitamente referidas no contrafactual são as que são realmente obedecidas em outros universos, ou seja, as leis da teoria quântica. Portanto, a declaração “se... então...” pode sem ambiguidade ser considerada como significando “na maioria dos universos nos quais Faraday morreu em 1830, o progresso tecnológico foi atrasado em relação ao nosso”. Em geral, podemos dizer que um evento X causa um evento Y no nosso universo se tanto X quanto Y ocorrerem no nosso universo, mas na maioria das variações do nosso universo nas quais X não acontece, Y também não acontece.

Se o multiverso fosse literalmente uma coleção de espaços-tempos, o conceito quântico de tempo seria igual ao conceito clássico. Como mostra a Figura 11.6, o tempo ainda seria uma sequência de momentos. A única diferença seria que, em determinado momento no multiverso, existiriam muitos universos em vez de um. A realidade física em determinado momento seria, com efeito, um “superinstantâneo” constituído de instantâneos de muitas versões diferentes do todo do espaço. O todo da realidade para o todo do tempo seria a pilha de todos os superinstantâneos, da mesma forma que foi classicamente uma pilha de instantâneos de espaço. Por causa da interferência quântica, cada instantâneo não mais seria determinado inteiramente por instantâneos anteriores do mesmo espaço-tempo (no entanto o seria aproximadamente, porque a física clássica é muitas vezes uma boa aproximação da física quântica). Mas os superinstantâneos que começassem com determinado momento seriam inteira e exatamente determinados pelos superinstantâneos anteriores. Esse completo determinismo não daria origem a completa previsibilidade, mesmo em princípio, porque fazer uma previsão exigiria um conhecimento do que havia acontecido em todos os universos, e cada cópia de nós só pode perceber diretamente um universo. Não obstante, no que se refere ao conceito de tempo, a figura seria como um espaço-tempo com uma sequência de momentos relacionados por leis deterministas, somente com mais acontecimentos a cada momento, mas a maior parte dela ocultada de qualquer outra cópia de qualquer observador.

Figura 11.6 *Se o multiverso fosse uma coleção de espaço-tempos interativos, o tempo ainda seria uma seqüência de momentos.*

Entretanto, o multiverso não é exatamente assim. Uma teoria quântica do tempo que funcione — que também seria a teoria quântica da gravidade — tem sido um objetivo tantalizante e inatingido da física teórica por algumas décadas. Mas sabemos e conhecemos o suficiente sobre ela para saber que, embora as leis da física quântica sejam perfeitamente deterministas no nível do multiverso, elas não dividem o multiverso da maneira mostrada na Figura 11.6, em espaços-tempos separados ou em superinstantâneos, cada um dos quais determina inteiramente os outros. Portanto, sabemos que o conceito clássico de tempo como uma sequência de momentos não pode ser verdadeiro, embora ofereça uma boa aproximação em muitas circunstâncias, isto é, em muitas regiões do multiverso.

Para elucidar o conceito quântico de tempo, vamos imaginar que fatiamos o multiverso em uma pilha de instantâneos individuais, da mesma forma que fizemos com o espaço-tempo. Com o que podemos colá-los novamente? Como antes, as leis da física e as propriedades físicas intrínsecas dos instantâneos constituem a única cola aceitável. Se o tempo no multiverso fosse uma sequência de momentos, teria sido possível identificar todos os instantâneos do espaço em dado momento, de forma a torná-los um superinstantâneo. Não surpreende que não exista um modo de fazer isso. No multiverso, os instantâneos não têm “carimbos de tempo”. Não existe isso de qual instantâneo de outro universo acontece “no mesmo momento” que determinado instantâneo do nosso universo, pois isso implicaria outra vez em haver uma estrutura dominante de tempo, fora do multiverso, em relação à qual os eventos dentro do multiverso acontecem. Essa estrutura não existe.

Portanto, não há demarcação fundamental entre instantâneos de outros tempos e de outros universos. Este é o núcleo distinto do conceito quântico

de tempo:

Outros tempos são apenas casos especiais de outros universos.

Esse entendimento surgiu pela primeira vez de pesquisas iniciais sobre a gravidade quântica na década de 1960, especialmente do trabalho de Bryce DeWitt, mas pelo que sei, não foi declarado de maneira geral até 1983, por Don Page e William Wooters. Os instantâneos que chamamos de “outros tempos em nosso universo” são distinguidos de “outros universos” somente da nossa perspectiva e somente por estarem intimamente relacionados aos nossos pelas leis da física. Portanto, eles são aqueles de cuja existência nosso próprio instantâneo encerra a maior evidência. Por esse motivo, nós os descobrimos milhares de anos antes de descobrir o resto do multiverso, que nos atinge de modo muito fraco, comparativamente, por meio de efeitos de interferência. Desenvolvemos construções especiais de linguagem (formas passada e futura dos verbos) para falar sobre eles. Também desenvolvemos outras construções (como declarações “se... então..." e formas condicionais e subjuntivas de verbos) para falar sobre outros tipos de instantâneos, sem mesmo saber se eles existem. Tradicionalmente, temos colocado esses dois tipos de instantâneo — outros tempos e outros universos — em categorias conceituais completamente diferentes. Agora vemos que essa distinção é desnecessária.

Vamos agora prosseguir com a nossa reconstrução nocional do multiverso. Há muito mais instantâneos na nossa pilha agora, mas vamos mais uma vez começar com determinado instantâneo de um universo em um momento. Se procurarmos na pilha por outros instantâneos semelhantes ao original, descobriremos que essa pilha é muito diferente do espaço-tempo desmontado. Porque achamos muitos instantâneos que são absolutamente idênticos ao original. Na verdade, qualquer instantâneo que esteja presente estará presente em uma infinidade de cópias. Portanto, não tem sentido perguntar quantos instantâneos, numericamente, têm tal e tal propriedade, mas apenas que parte do total infinito tem essa propriedade. Para ser breve, quando eu falar de certo “número” de universos, sempre estarei querendo dizer certa parte do número total no multiverso.

Se, salvo variações de mim mesmo em outros universos, houver também múltiplas cópias idênticas de mim, qual delas eu sou? É claro que sou todas elas. Cada uma delas acaba de fazer essa pergunta, “qual delas eu sou?”, e qualquer maneira verdadeira de responder à pergunta deve dar a cada um deles a mesma resposta. Assumir que é fisicamente significativo perguntar

qual das cópias idênticas sou eu é assumir que existe algum quadro de referência fora do multiverso, em relação ao qual a resposta poderia ser dada — “Eu sou o terceiro da esquerda. Mas qual “esquerda” seria essa, e o que significa “o terceiro”? Essa terminologia só faz sentido se imaginarmos os instantâneas de mim arranjados em posições diferentes em algum espaço externo. Mas o multiverso não existe em um espaço externo mais do que existe em um tempo externo: ele contém todo o espaço e todo o tempo que existem. Ele apenas existe e fisicamente é tudo o que existe.

A teoria quântica geralmente não determina o que acontecerá em determinado instantâneo, como o faz a física do espaço-tempo. Em vez disso, ela determina qual proporção de todos os instantâneos do multiverso terá dada propriedade. Por esse motivo, nós habitantes do multiverso às vezes podemos fazer apenas previsões probabilísticas da nossa própria experiência, embora o que acontecerá no multiverso seja completamente determinado. Suponha, por exemplo, que atiramos uma moeda para cima. Uma previsão típica da teoria quântica seria que se, em certo número de instantâneos, uma moeda foi girada de certa maneira e os relógios mostraram determinada leitura, então também existirá a metade desse número de universos nos quais os relógios mostraram uma leitura mais alta e a moeda caiu com “cara” para cima e outra metade em que os relógios mostram a leitura mais alta e a moeda caiu com “coroa” para cima.

A Figura 11.7 mostra a pequena região do multiverso na qual esses eventos acontecem. Mesmo nessa pequena região existem muitos instantâneos para ilustrar, portanto podemos usar apenas um ponto do diagrama para cada instantâneo. Todos os instantâneos que estamos olhando contêm relógios de um tipo padrão e o diagrama está organizado de forma que todos os instantâneos com determinada leitura de relógio aparecem em uma coluna vertical e as leituras do relógio aumentam da esquerda para a direita. À medida que percorremos qualquer linha vertical do diagrama, nem todos os instantâneos pelos quais passamos são diferentes. Passamos por grupos de instantâneos idênticos, como é indicado pelo sombreamento. Os instantâneos nos quais os relógios mostram a leitura mais antiga estão na borda esquerda do diagrama. Vemos que em todos esses instantâneos, que são idênticos, a moeda está girando. Na borda direita do diagrama vemos que em metade dos instantâneos nos quais os relógios mostram a leitura mais recente a moeda caiu com “cara” para cima e na outra metade ela caiu com “coroa” para cima. Em universos com leituras de relógio intermediárias, três

tipos de universo estão presentes, em proporções que variam com a leitura do relógio.

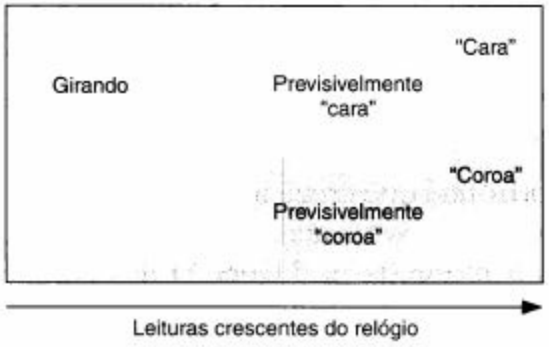


Figura 11.7 *Uma região do multiverso contendo uma moeda girando. Cada ponto do diagrama representa um instantâneo.*

Se você estivesse presente na região ilustrada do multiverso, todas as cópias de você teriam visto a moeda girando em primeiro lugar. Mais tarde, a metade das cópias de você veria sair as “caras” e a outra metade veria “coroas”. Em algum estágio intermediário você teria visto a moeda em um estado em que ainda estivesse em movimento, mas do qual é previsível qual face ela mostrará quando finalmente parar. Essa diferenciação de cópias idênticas de um observador em versões ligeiramente diferentes é responsável pelo caráter subjetivamente probabilístico das previsões quânticas. Pois se você perguntasse, inicialmente, que resultado do lançamento da moeda estava destinado a ver, a resposta seria que isto é estritamente imprevisível, pois a metade das cópias de você que fizesse essa pergunta veria “cara”, e a outra metade veria “coroa”. Não existe isso de “qual metade” veria “cara”, não mais do que existe uma resposta para a pergunta “qual deles sou eu?”. Para finalidades práticas, você poderia considerar isto uma previsão probabilística de que a moeda tem 50% de probabilidade de dar “cara” e 50% de dar “coroa”.

O determinismo da teoria quântica, da mesma forma que o da física clássica, funciona para a frente e para trás no tempo. A partir do estado da coleção combinada de instantâneos de “caras” e “coroas” em um tempo posterior na Figura 11.7, o estado “giratório” em um tempo anterior é completamente determinado, e vice-versa. Não obstante, do ponto de vista de qualquer observador, a informação é perdida no processo de lançamento da moeda. Pois, embora o estado “giratório” inicial da moeda possa ser

percebido por um observador, o estado final combinado de “caras” e “coroas” não corresponde a nenhuma experiência possível do observador. Portanto, um observador no tempo anterior pode observar a moeda e prever seu estado futuro e as consequentes probabilidades subjetivas. Mas nenhuma das cópias posteriores do observador pode perceber a informação necessária para deduzir o estado “giratório” passado, pois essa informação estava na ocasião distribuída entre dois tipos diferentes de universo e isso torna impossível uma dedução do passado a partir do estado final da moeda. Por exemplo, se tudo o que sabemos é que a moeda está mostrando “cara”, o estado alguns segundos antes poderia ter sido o que chamei de “giratório”, ou a moeda poderia ter estado girando na direção oposta, ou poderia estar mostrando “cara” o tempo todo. Não existe possibilidade de dedução do passado aqui, nem mesmo da dedução probabilística. O estado anterior da moeda simplesmente não é determinado pelo estado posterior dos instantâneos de “caras”, mas somente pelo estado conjunto dos instantâneos de “cara” e de “coroa”.

Qualquer linha horizontal que cruze a Figura 11.7 passa através de uma sequência de instantâneos com leituras crescentes de relógio. Poderíamos ser tentados a pensar nessa linha — como a mostrada na Figura 11.8 — como um espaço-tempo e no diagrama inteiro como uma pilha de espaços-tempos, um para cada linha. Podemos ler na Figura 11.8 o que acontece no “espaço-tempo” definido pela linha horizontal. Durante um período ele contém uma moeda girando. Depois, durante outro período, contém a moeda movendo-se de forma que resultará previsivelmente em “cara”. Porém, mais tarde, em contradição com isso, ele contém a moeda movendo-se de modo que previsivelmente resultará em “coroa” e, finalmente, mostra “coroa”. Mas isso é apenas uma deficiência do diagrama, como indiquei no Capítulo 9 (veja a Figura 9-4). Neste caso as leis da mecânica quântica preveem que nenhum observador que se lembre de ver a moeda no estado de “previsivelmente cara” pode vê-la no estado de “coroa”: essa é a justificação para chamar esse estado de “previsivelmente cara” em primeiro lugar. Portanto, nenhum observador no multiverso reconheceria eventos à medida que ocorressem no “espaço-tempo” definido pela linha. Tudo isto é para confirmar que não podemos colar os instantâneos de modo arbitrário, mas apenas de maneira que reflita os relacionamentos entre eles que são determinados pelas leis da física. Os instantâneos ao longo da linha na Figura 11.8 não estão suficientemente inter-relacionados para justificar seu agrupamento em um único universo. Pode-se admitir que eles aparecem em ordem de leituras

crescentes do relógio as quais, no espaço-tempo, seriam “carimbos de tempo” que seriam suficientes para que o espaço-tempo fosse remontado. Mas no multiverso existem instantâneos demais para que apenas leituras de relógio localizem um instantâneo em relação aos outros. Para fazer isso, precisamos considerar os detalhes intrincados de quais instantâneos determinam os outros.

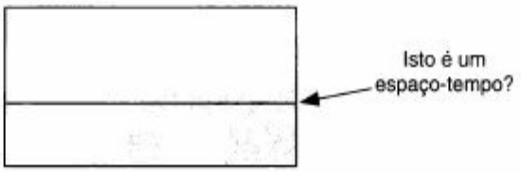


Figura 11.8 *Uma seqüência de instantâneos com leituras de relógio crescentes não é necessariamente um espaço-tempo.*

Na física do espaço-tempo, qualquer instantâneo é determinado por qualquer outro. Como eu disse, no multiverso geralmente não é assim. Tipicamente, o estado de um grupo de instantâneos idênticos (como aqueles em que a moeda está “girando”) determina o estado de um número igual de instantâneos diferentes (como os das “caras” e “coroas”). Devido à propriedade de reversibilidade do tempo das leis da física quântica, o estado geral de múltiplos valores do último grupo também determina o estado do anterior. Entretanto, em algumas regiões do multiverso, e em alguns lugares do espaço, os instantâneos de alguns objetos físicos caem, durante um período, em cadeias, cujos membros determinam todos os outros com boa aproximação. Instantâneos sucessivos do sistema solar seriam o exemplo padrão. Nessas regiões, as leis da física clássica são uma boa aproximação das quânticas. Nessas regiões e lugares, o multiverso realmente se parece como na Figura 11.6, uma coletânea de espaços-tempos, e nesse nível de aproximação o conceito quântico de tempo se reduz ao conceito clássico. Pode-se distinguir aproximadamente entre “tempos diferentes” e “universos diferentes”, e o tempo é aproximadamente uma sequência de momentos. Mas essa aproximação sempre se desfaz se os instantâneos forem examinados com mais detalhes, ou ela parece muito adiante ou atrás no tempo, ou muito longe no multiverso.

Todos os resultados experimentais atualmente disponíveis são compatíveis com a aproximação de que o tempo é uma sequência de momentos. Nós não esperamos que essa aproximação se desfaça em nenhum

experimento terrestre previsível, mas a teoria nos diz que ela deve se desfazer em certos tipos de processos físicos. O primeiro é o começo do universo, o Big Bang. De acordo com a física clássica, o tempo começou em um momento em que o espaço era infinitamente denso e ocupava apenas um único ponto, e antes disso não havia momentos. De acordo com a física quântica (como o melhor que podemos dizer), os instantâneos muito perto do Big Bang não estão em nenhuma ordem determinada. A propriedade sequencial do tempo não começa no Big Bang, mas em algum momento posterior. Na natureza das coisas não faz sentido perguntar quanto tempo depois. Mas podemos dizer que os momentos iniciais que, com boa aproximação, são sequenciais ocorrem aproximadamente quando a física clássica extrapolaria que o Big Bang acontecera 10'43 segundos antes (o tempo de Planck).

Acredita-se que um segundo tipo semelhante de quebra da sequência do tempo ocorra no interior dos buracos negros e no recolapso final do universo (o “Big Crunch”), se houver um. Em ambos os casos, a matéria é comprimida até a densidade infinita de acordo com a física clássica, da mesma forma que no Big Bang, e as forças gravitacionais resultantes rompem a estrutura do espaço-tempo.

A propósito, se alguma vez você se perguntou o que aconteceu antes do Big Bang ou o que acontecerá depois do Big Crunch, pode parar de perguntar agora. Por que é tão difícil aceitar que não existem momentos antes do Big Bang ou depois do Big Crunch, de forma que nada acontece ou existe ali? Porque é difícil imaginar o tempo parando ou iniciando. Mas então o tempo não tem de parar ou iniciar, pois ele não se move de forma alguma. O multiverso não “vem a existir” ou “cessa de existir”; essas expressões pressupõem o fluxo do tempo. É somente o imaginar do fluxo do tempo que nos faz pensar no que aconteceu “antes” ou “depois” do todo da realidade.

Em terceiro lugar, acredita-se que, em escala submicroscópica, os efeitos quânticos novamente dobram e rasgam a estrutura do espaço-tempo e que laços fechados de tempo — com efeito, pequenas máquinas de tempo — existem nessa escala. Como veremos no capítulo seguinte, esse tipo de quebra da sequência do tempo também é fisicamente possível em grande escala e permanece uma questão aberta se ocorre perto de objetos tais como buracos negros em rotação.

Assim, embora não possamos ainda nenhum desses efeitos, nossas melhores teorias já nos dizem que a física do espaço-tempo nunca é uma

descrição exata da realidade. Por melhor que seja a aproximação, o tempo na realidade deve ser fundamentalmente diferente da sequência linear que o senso comum supõe. Não obstante, tudo no multiverso é determinado tão rigidamente quanto no espaço-tempo clássico. Remova um instantâneo, e os restantes o determinam exatamente. Remova a maioria dos instantâneos, e os poucos restantes ainda podem determinar tudo o que foi removido, da mesma forma que fazem no espaço-tempo. A diferença é apenas que, ao contrário do espaço-tempo, o multiverso não consiste nas camadas mutuamente determinantes que chamei de superinstantâneos, que poderiam servir como "momentos" do multiverso. É um quebra-cabeça complexo e multidimensional.

Nesse multiverso de quebra-cabeça, que nem consiste em uma sequência de momentos nem permite um fluxo de tempo, o conceito de senso comum de causa e efeito faz sentido perfeitamente. O problema que encontramos com a causação no espaço-tempo era que ela é uma propriedade de variações das causas e efeitos, como também das próprias causas e efeitos. Como essas variações existiam somente na nossa imaginação e não no espaço-tempo, nós nos voltamos contra a falta de significado físico de tirar conclusões substantivas das propriedades imaginadas de processos físicos inexistentes ("contrafactuais"). Mas no multiverso as variações existem, em diferentes proporções, e obedecem a leis definidas e determinísticas. Dadas essas leis, é um fato objetivo quais eventos fazem diferença para a ocorrência de determinados outros eventos. Suponha que exista um grupo de instantâneos, não necessariamente idênticos, mas todos compartilhando a propriedade X. Suponha que, dada a existência desse grupo, as leis da física determinem que existe outro grupo de instantâneos com a propriedade Y. Uma das condições para X é ter uma causa de Y satisfeita. A outra condição relaciona-se com variações. Considere as variações do primeiro grupo que não têm a propriedade X. Se, a partir da existência destas, a existência de alguns dos instantâneos Y ainda é determinada, então X não era uma causa de Y: porque Y teria acontecido, mesmo sem X. Mas se, do grupo de variações não-X, somente a existência de variações não-Y é determinada, então X era uma causa de Y.

Não há nada nessa definição de causa e efeito que logicamente exija que as causas precedam seus efeitos, e poderia acontecer que, em situações muito exóticas, como muito perto do Big Bang ou dentro de buracos negros, elas não precedam. Entretanto, na experiência diária as causas sempre precedem

seus efeitos, isso porque — pelo menos na nossa vizinhança do multiverso — o número de tipos diferentes de instantâneos tende a aumentar rapidamente com o tempo e dificilmente diminui. Essa propriedade está relacionada à segunda lei da termodinâmica, que diz que a energia ordenada, como energia potencial gravitacional ou química, pode ser inteiramente convertida em energia desordenada, isto é, calor, mas nunca o contrário. Calor é movimento microscopicamente aleatório. Em termos de multiverso, isso significa muitos estados de movimento microscopicamente diferentes em universos diferentes. Por exemplo, em instantâneos sucessivos da moeda com ampliação comum, parece que o processo de estabilização converte um grupo de instantâneos "previsivelmente cara" idênticos em um grupo de instantâneos "cara" idênticos. Mas durante esse processo a energia do movimento da moeda é convertida em calor, de forma que com ampliações suficientemente grandes para ver moléculas individuais, os instantâneos do último grupo não são idênticos. Todos eles concordam que a moeda está na posição de "cara", mas mostram suas moléculas e as do ar circundante e da superfície na qual ela cai, em muitas configurações diferentes. Reconhecidamente, os instantâneos iniciais "previsivelmente cara" também não são microscopicamente idênticos, porque algum calor está presente ali também, mas a produção de calor no processo significa que esses instantâneos são muito menos diferentes do que os últimos. Portanto, cada grupo homogêneo de instantâneos "previsivelmente cara" determina a existência de — e portanto causa — vastas quantidades de instantâneos "cara" microscopicamente diferentes. Mas nenhum instantâneo único "cara" por si mesmo determina a existência de qualquer instantâneo "previsivelmente cara" e, portanto, não é uma causa deles.

A conversão, em relação a qualquer observador, de possibilidades em realidades — de um futuro aberto em um passado fixo — também faz sentido nessa estrutura. Considere mais uma vez o exemplo do lançamento da moeda. Antes do lançamento, o futuro está aberto do ponto de vista de um observador, no sentido de que ainda é possível que ambos os resultados, "cara" ou "coroa", sejam observados por esse observador. Do ponto de vista desse observador, ambos os resultados são possibilidades, mesmo que objetivamente ambos sejam realidades. Depois de a moeda se estabilizar, as cópias do observador foram diferenciadas em dois grupos. Cada observador notou, e lembra, somente um resultado do lançamento da moeda. Assim, o resultado, uma vez que esteja no passado de qualquer observador, tornou-se

real e com valor único para todas as cópias do observador, mesmo que do ponto de vista do multiverso ele ainda tenha dois valores, como sempre.

Vamos resumir os elementos do conceito quântico de tempo. O tempo não é uma sequência de momentos, nem o tempo flui. No entanto, nossas intuições sobre as propriedades do tempo são amplamente verdadeiras. Certos eventos são realmente causas e efeitos uns dos outros. Com relação a um observador, o futuro está realmente aberto e o passado é fixo, e as possibilidades tornam-se realidades. O motivo para as nossas teorias tradicionais de tempo serem absurdas é que elas tentam exprimir essas intuições verdadeiras dentro da estrutura de uma física clássica falsa. Na física quântica elas fazem sentido, porque o tempo era um conceito quântico o tempo todo. Nós existimos em múltiplas versões, em universos chamados “momentos”. Cada versão de nós não tem percepção direta das outras, mas tem evidência da sua existência porque as leis físicas ligam o conteúdo de diferentes universos. É tentador supor que o momento do qual estamos conscientes é o único verdadeiro, ou é pelo menos um pouco mais real do que os outros. Mas isso é apenas solipsismo. Todos os momentos são fisicamente reais. O todo do multiverso é fisicamente real. Nada mais é.

Terminologia Empregada no Capítulo

Fluxo de tempo — O suposto movimento do momento presente na direção do futuro ou o suposto movimento da nossa consciência de um momento para outro. (Isso é um absurdo)

Espaço-tempo — Espaço e tempo considerados juntos como uma entidade está¬tica de quatro dimensões.

Física do espaço-tempo — Teorias, como a relatividade, nas quais a realidade é considerada espaço-tempo. Como a realidade é um multiverso, essas teorias podem no máximo ser aproximações.

Livre-arbítrio — A capacidade de afetar eventos futuros em qualquer uma de várias maneiras possíveis e escolher qual ocorrerá.

Condicional contrafactual — Uma declaração condicional cuja premissa é falsa (tal como “se Faraday tivesse morrido em 1830, então X teria acontecido").

Instantâneo (terminologia usada somente neste capítulo) — Um universo em determinado instante.

Resumo

O tempo não flui. Outros tempos são apenas casos especiais de outros universos. A viagem no tempo pode ou não ser exequível. Mas nós já temos

um entendimento teórico razoavelmente bom de como seria se fosse factível, um entendimento que envolve todos os quatro elementos.

12 Viagem no Tempo

É um pensamento natural que, dada a ideia de que o tempo é de alguma maneira uma quarta dimensão do espaço, se é possível viajar de um lugar para outro, talvez também seja possível viajar de um tempo para outro. Vimos no capítulo anterior que a ideia de "movimento" através do tempo, no sentido de que nos movemos através do espaço, não faz sentido. Não obstante, parece claro o que significaria dizer viajar para o século XXV ou para a era dos dinossauros. Na ficção científica, as máquinas do tempo normalmente são idealizadas como veículos exóticos. Ajustam-se os controles para a data e hora do destino escolhido, espera-se enquanto o veículo viaja para aquela data (às vezes pode-se escolher o lugar também) e lá se chega. Se foi escolhido o futuro distante, conversa-se com robôs conscientes e maravilha-se com espaçonaves interestelares ou (dependendo da crença política do autor) vagueia-se por entre minas carbonizadas e radioativas. Se foi escolhido o passado distante, luta-se contra um tiranossauro rex enquanto pterodáctilos voam no alto.

A presença de dinossauros seria evidência impressionante de que realmente chegamos a uma era anterior. Deveríamos poder verificar essa evidência, e determinar a data com mais precisão, observando algum "calendário" natural de longa duração, como as formas das constelações no céu noturno ou as proporções relativas de vários elementos radioativos nas rochas. A física fornece muitos calendários desse tipo, e as leis da física fazem com que eles concordem mutuamente quando são adequadamente calibrados. De acordo com a aproximação de que o multiverso consiste em um conjunto de espaços-tempos paralelos, cada um constituído por uma pilha de "instantâneos" de espaço, a data definida desta forma é uma propriedade de um instantâneo inteiro, e quaisquer dois instantâneos são separados por um intervalo de tempo que é a diferença entre suas datas. A viagem no tempo é qualquer processo que causa uma disparidade entre, por um lado, este intervalo entre dois instantâneos e, por outro, nossa própria experiência de quanto tempo se passou entre estarmos nesses dois instantâneos. Poderíamos nos referir a um relógio que levamos conosco, ou estimar quanto pensamento tivemos a oportunidade de realizar, ou medir, por critérios fisiológicos, quanto os nossos corpos envelheceram. Se observarmos que se passou um longo tempo externamente, enquanto por todas as medidas subjetivas

experimentamos um tempo muito mais curto, então viajamos para o futuro. Se, por outro lado, observarmos os relógios e calendários externos que indicam determinada data e hora, e mais tarde (subjetivamente) os observarmos consistentemente indicando uma ocasião anterior, então viajamos para o passado.

A maioria dos autores de ficção científica percebe que viagens no tempo direcionadas para o futuro e para o passado são tipos de processos radicalmente diferentes. Não darei muita atenção aqui à viagem no tempo para o futuro, porque ela é de longe a proposição menos problemática. Mesmo na vida diária, por exemplo quando dormimos e acordamos, nosso tempo experimentado subjetivamente pode ser mais curto do que o tempo externo decorrido. Pode-se dizer que pessoas que se recuperam de comas que duram vários anos viajaram esses anos para o futuro, não fosse pelo fato de seus corpos terem envelhecido de acordo com o tempo externo em vez do tempo que experimentaram subjetivamente. Portanto, em princípio, uma técnica semelhante à que imaginamos no Capítulo 5 para desacelerar o cérebro de um usuário de realidade virtual poderia ser aplicada ao corpo inteiro e assim ser usada para uma viagem no tempo completamente desenvolvida em direção ao futuro. Um método menos invasivo é fornecido pela teoria da relatividade especial de Einstein, que diz que em geral um observador que acelera ou desacelera experimenta menos tempo do que outro que esteja em repouso ou em movimento uniforme. Por exemplo, um astronauta que embarcou em uma viagem de ida e volta envolvendo aceleração até velocidades próximas à da luz experimentaria muito menos tempo do que um observador que permanecesse na Terra. Esse efeito é conhecido como dilatação do tempo. Acelerando o suficiente, pode-se fazer a duração do voo do ponto de vista do astronauta tão curta quanto se queira, e a duração, quando medida na Terra, tão longa quanto se queira. Assim, poder-se-ia viajar tão longe no futuro quanto se quisesse em um tempo dado, subjetivamente curto. Mas essa viagem para o futuro seria irreversível. A jornada de volta exigiria a viagem no tempo direcionada para o passado e nenhuma quantidade de dilatação de tempo é capaz de permitir que uma espaçonave retorne de um voo antes de decolar.

A realidade virtual e a viagem no tempo têm pelo menos isto em comum: ambas alteram sistematicamente o relacionamento usual entre a realidade externa e a experiência que o usuário tem dela. Portanto, poder-se-ia fazer esta pergunta: se um gerador universal de realidade virtual pudesse

tão facilmente ser programado para viajar no tempo para o futuro, existiria um meio de utilizá-lo para viajar no tempo em direção ao passado? Por exemplo, se o ato de nos desacelerar nos enviaria para o futuro, a ação de nos acelerar nos enviaria para o passado? Não; o mundo externo apenas pareceria desacelerar. Mesmo no limite inatingível em que o cérebro operasse infinitamente rápido, o mundo externo pareceria congelado em determinado momento. Isso ainda seria viagem no tempo, pela definição anterior, mas não em direção ao passado. Poder-se-ia chamá-la de viagem no tempo "direcionada para o presente". Eu me lembro de ter desejado uma máquina capaz de viajar no tempo direcionada para o presente quando fazia revisões de última hora para os exames — qual estudante não desejou?

Antes de discutir a própria viagem no tempo direcionada para o passado, que tal a reprodução da viagem para o passado? Até que ponto um gerador de realidade virtual poderia ser programado para dar ao usuário a experiência de viajar para o passado? Veremos que a resposta a essa pergunta, como a todas as perguntas sobre o alcance da realidade virtual, também nos fala sobre a realidade física.

Os aspectos distintos de experimentar um ambiente passado são, por definição, experiências de certos objetos ou processos físicos — "relógios" e "calendários" — em estados que ocorreram somente em tempos passados (isto é, em instantâneos passados). Um gerador de realidade virtual poderia, é claro, reproduzir esses objetos em tais estados. Por exemplo, poderia proporcionar a experiência de viver na era dos dinossauros ou nas trincheiras da Primeira Guerra Mundial e poderia fazer as constelações, datas em jornais ou qualquer coisa assim aparecer corretamente para aquelas épocas. Quão corretamente? Existe algum limite fundamental sobre quão exatamente qualquer era dada poderia ser reproduzida? O princípio de Turing diz que um gerador universal de realidade virtual pode ser construído e programado para reproduzir qualquer ambiente fisicamente possível, portanto, claramente, ele poderia ser programando para reproduzir qualquer ambiente que já tenha existido fisicamente.

Para reproduzir uma máquina do tempo que tivesse certo repertório de destinos do passado (e portanto também para reproduzir os próprios destinos), o programa teria de incluir registros históricos dos ambientes naqueles destinos. Na verdade, precisaria mais do que meros registros, porque a experiência da viagem no tempo envolveria mais do que apenas ver eventos passados desdobrando-se ao redor. Reproduzir registros do passado

para o usuário seria mera geração de imagens, não realidade virtual. Como um verdadeiro viajante do tempo participaria de eventos e agiria sobre o ambiente passado, uma reprodução precisa de realidade virtual de uma máquina do tempo, como de qualquer ambiente, deveria ser interativa. O programa teria de calcular, para cada ação do usuário, como o ambiente histórico teria respondido àquela ação. Por exemplo, para convencer o Dr. Johnson de que uma suposta máquina do tempo realmente o havia levado para a Roma antiga, teríamos de permitir que ele fizesse mais do que apenas observar invisível e passivamente Júlio César passando. Ele iria querer testar a autenticidade das suas experiências chutando as pedras locais. Ele poderia chutar César, ou pelo menos se dirigir a ele em latim e esperar que respondesse. Isso significa que, para uma reprodução de realidade virtual de uma máquina do tempo ser exata, a reprodução deveria responder a esses testes interativos da mesma forma que responderia a máquina do tempo verdadeira e da mesma forma que responderiam os verdadeiros ambientes do passado aos quais ele viajasse. Isso incluiria, neste caso, exibir uma reprodução de Júlio César com comportamento correto e falando latim.

Como Júlio César e a Roma antiga eram objetos físicos, eles podiam, em princípio, ser reproduzidos com exatidão arbitrária. A tarefa difere somente em grau da de reproduzir a Quadra Central de Wimbledon, incluindo os espectadores. Naturalmente, a complexidade dos programas requeridos seria enorme. Ainda mais complexa, ou talvez até impossível, em princípio, seria a tarefa de coletar as informações necessárias para escrever os programas a fim de reproduzir seres humanos específicos. Mas o problema aqui não é escrever os programas. Não estou perguntando se podemos encontrar o suficiente sobre um ambiente do passado (ou, na verdade, sobre um ambiente presente ou futuro) para escrever um programa que reproduziria esse ambiente especificamente. Estou perguntando se o conjunto de todos os possíveis programas para geradores de realidade virtual inclui ou não um que forneça uma reprodução em realidade virtual da viagem no tempo em direção ao passado e, se for assim, quão exata pode ser essa reprodução. Se não existissem programas para reproduzir a viagem no tempo, o princípio de Turing implicaria ser fisicamente impossível a viagem no tempo (porque ele diz que tudo o que é fisicamente possível pode ser reproduzido por algum programa). E diante disso, realmente há um problema aqui. Mesmo que haja programas que reproduzam ambientes do passado com exatidão, parece haver obstáculos fundamentais para usá-los na reprodução da viagem no tempo.

Esses obstáculos são os mesmos que parecem impedir a própria viagem no tempo, isto é, os assim chamados “paradoxos” da viagem no tempo.

Aqui está um típico paradoxo desses. Eu construo uma máquina do tempo e a uso para viajar para o passado. Lá impeço o meu eu anterior de construir a máquina do tempo. Mas se a máquina não for construída, não poderei usá-la para viajar para o passado, portanto nem para impedir que ela seja construída. Então, eu faço essa viajem ou não? Se fizer, privo a mim mesmo da máquina do tempo e portanto não faço a viagem. Se não fizer a viagem, permito que eu mesmo construa a máquina do tempo e portanto faça a viagem. Algumas vezes isso é chamado de “paradoxo do avô”, expresso em termos de empregar a viagem no tempo para matar o avô de alguém antes que ele tenha filhos. (Se ele não teve filhos, não poderia ter nenhum neto, então quem o matou?) Essas duas formas do paradoxo são as mais citadas e requerem um elemento de conflito violento entre o viajante no tempo e as pessoas do passado, de forma que nos pegamos imaginando quem vencerá. Talvez o viajante no tempo seja derrotando e o paradoxo, evitado. Mas a violência não é parte essencial do problema. Se eu tivesse uma máquina do tempo, poderia decidir o seguinte: que se, hoje, meu futuro eu me visitar, tendo partido de amanhã, então amanhã eu não usarei minha máquina do tempo; e que, se eu não receber esse visitante hoje, então amanhã eu usarei a máquina do tempo para viajar para hoje e visitar a mim mesmo. Parece resultar dessa decisão que, se eu usar a máquina do tempo, então eu não a usarei e, se eu não a usar, então eu a usarei: uma contradição.

Uma contradição indica uma suposição errônea, de forma que esses paradoxos tradicionalmente têm sido usados como provas de que a viagem no tempo é impossível. Uma outra suposição que às vezes é desafiada é a do livre-arbítrio — se os viajantes no tempo podem escolher como se comportar usualmente. Conclui-se então que, se as máquinas do tempo existissem, o livre-arbítrio das pessoas seria prejudicado. De alguma forma, elas seriam incapazes de formar intenções do tipo que descrevi; ou então, quando viajassem no tempo, elas esqueceriam sistematicamente as resoluções que tomaram antes de partir. Mas acontece que a suposição errônea por trás dos paradoxos não é nem a existência de uma máquina do tempo nem a capacidade das pessoas de escolher suas ações da maneira habitual. Tudo o que está errado é a teoria clássica do tempo, que já mostrei, por razões muito independentes, ser insustentável.

Se a viagem no tempo fosse até mesmo logicamente impossível, uma

reprodução dela em realidade virtual também seria impossível. Se ela exigisse uma suspensão do livre-arbítrio, sua reprodução em realidade virtual também exigiria. Os paradoxos da viagem no tempo podem ser expressos em termos de realidade virtual como a seguir. A exatidão de uma reprodução de realidade virtual é a fidelidade, até onde for perceptível, do ambiente reproduzido à do pretendido. No caso da viagem no tempo, o ambiente pretendido é o que existiu historicamente. Mas tão logo o ambiente reproduzido responda, como é necessário que faça, ao usuário que o chuta, torna-se historicamente inexato porque o ambiente real nunca respondeu ao usuário: o usuário nunca o chutou. Por exemplo, o verdadeiro Júlio César nunca encontrou o Dr. Johnson. Consequentemente, o Dr. Johnson, no próprio ato de testar a fidelidade da reprodução conversando com César, destruiria qualquer fidelidade criando um César historicamente inexato. Uma reprodução pode se comportar com exatidão sendo uma imagem fiel da história ou pode responder com exatidão, mas nunca ambas as coisas. Assim, parece que, de um jeito ou de outro, uma reprodução em realidade virtual da viagem no tempo é intrinsecamente incapaz de ser exata — o que é outra maneira de dizer que a viagem no tempo não pode ser reproduzida em realidade virtual.

Mas esse efeito é realmente um impedimento para a reprodução exata da viagem no tempo? Normalmente, imitar o comportamento real de um ambiente não é o objetivo da realidade virtual: o que conta é que ela deve responder com exatidão. Tão logo comece a jogar tênis na Quadra Central de Wimbledon reproduzida, você faz com que ela tenha um comportamento diferente do da verdadeira. Mas isso não torna a reprodução menos exata. Ao contrário, é isso o que é requerido para a exatidão. Exatidão em realidade virtual significa a proximidade do comportamento reproduzido com o que o ambiente original exibiria se o usuário estivesse nele presente. Somente no início da reprodução o estado do ambiente reproduzido tem de ser fiel ao original. Daí em diante não é o seu estado, mas as suas respostas às ações do usuário que devem ser fiéis. Por que isso é “paradoxal” para reproduções de viagem no tempo, mas não para outras reproduções — por exemplo, para reproduções de viagens comuns?

Parece paradoxal porque nas reproduções de viagem no tempo direcionadas para o passado o usuário tem um papel duplo ou múltiplo. Em razão do laço que existe onde, por exemplo, uma ou mais cópias do usuário podem coexistir e interagir, exige-se que o gerador de realidade virtual na

verdade reproduza o usuário enquanto, simultaneamente, responde às ações do usuário. Por exemplo, vamos imaginar que eu seja o usuário de um gerador de realidade virtual executando um programa de viagem no tempo. Suponha que, quando eu ative o programa, o ambiente que vejo ao meu redor seja um laboratório futurista. No meio dele há uma porta giratória, como as da entrada de alguns edifícios, exceto pelo fato de que esta é opaca e quase inteiramente encerrada em um cilindro opaco. A única maneira de entrar ou sair do cilindro é uma só entrada aberta em seu lado. A porta dentro dele gira continuamente. À primeira vista, parece que é pouco o que se pode fazer com esse dispositivo, exceto entrar, dar a volta uma ou mais vezes com a porta giratória, e sair. Mas acima da entrada há um aviso: “Caminho para o Passado”. É uma máquina do tempo, uma máquina fictícia, de realidade virtual. Mas se existisse uma verdadeira máquina do tempo direcionada para o passado, ela não seria, como esta, um tipo exótico de veículo, mas um tipo exótico de lugar. Em vez de dirigir ou voar para o passado, tomaríamos certo caminho através dele (talvez usando um veículo espacial comum) e sairíamos em um tempo anterior.

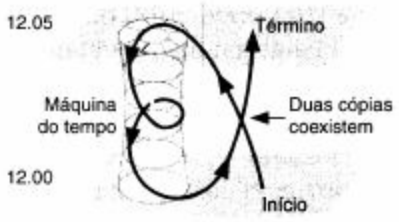


Figura 12.1 *Caminho do espaço-tempo tomado por um viajante no tempo.*

Na parede do laboratório simulado há um relógio, inicialmente mostrando meio-dia, e ao lado da entrada do cilindro há algumas instruções. Quando termino de ler as instruções, é meio-dia e cinco minutos, tanto de acordo com minha percepção quanto de acordo com o relógio. As instruções dizem que, se eu entrar no cilindro, der uma volta com a porta giratória e sair, será cinco minutos mais cedo no laboratório. Eu entro em um dos compartimentos da porta giratória. Enquanto ando ao redor, meu compartimento se fecha atrás de mim e, momentos depois, alcança a entrada novamente. Eu saio. O laboratório parece exatamente o mesmo, exceto — o quê? O que exatamente eu deveria esperar sentir em seguida, se isto deve ser uma reprodução exata da viagem no tempo para o passado?

Primeiro deixe-me retroceder um pouco. Suponha que ao lado da entrada haja um comutador cujas duas posições são rotuladas com “interação

ligada" e “interação desligada". Inicialmente ele está em “interação desligada". Esse ajuste não permite que o usuário participe do passado, mas apenas observe. Em outras palavras, não oferece uma reprodução completa em realidade virtual do ambiente do passado, mas apenas geração de imagens.

Com essa configuração mais simples pelo menos não há ambiguidade ou paradoxo sobre quais imagens devem ser geradas quando eu saio da porta giratória. São imagens de mim mesmo, no laboratório, fazendo o que eu fiz ao meio-dia. Uma razão para não haver ambiguidade é que posso lembrar esses eventos, portanto posso testar as imagens do passado contra minha própria lembrança do que aconteceu. Ao restringir nossa análise a um ambiente pequeno e fechado durante um curto período de tempo, evitamos o problema análogo ao de descobrir como era realmente Júlio César, que é um problema sobre os últimos limites da arqueologia e não sobre os problemas inerentes à viagem no tempo. No nosso caso, o gerador de realidade virtual pode facilmente obter as informações de que precisa para gerar as imagens necessárias, fazendo uma gravação de tudo o que eu faço. Isto é, não do que faço na realidade física (que é simplesmente ficar quieto dentro do gerador de realidade virtual), mas do que faço no ambiente virtual do laboratório. Assim, no momento em que saio da máquina do tempo, o gerador de realidade virtual para de reproduzir o laboratório ao meio-dia e cinco e começa a reproduzir sua gravação, iniciando com imagens do que aconteceu ao meio-dia. Ele exibe essa gravação para mim com a perspectiva ajustada para a minha posição presente e para onde estou olhando e continuamente reajusta a perspectiva da maneira usual enquanto eu me movimento. Assim, vejo o relógio mostrando meio-dia novamente. Também vejo meu eu anterior na frente da máquina do tempo, lendo o aviso acima da entrada e estudando as instruções, exatamente como fiz cinco minutos atrás. Eu o vejo, mas ele não pode me ver. Não importa o que eu faça, ele — ou melhor, a coisa, a imagem em movimento de mim mesmo — não reage à minha presença de modo nenhum. Depois de algum tempo, ele anda em direção à máquina do tempo.

Se acontecer de eu estar bloqueando a entrada, a minha imagem seguirá diretamente e entrará na máquina, exatamente como eu fiz, pois se ela fizesse qualquer outra coisa seria uma imagem inexata. Existem muitas maneiras pelas quais um gerador de imagens pode ser programado para manipular uma situação em que uma imagem de um objeto sólido tem de passar pelo local em que está o usuário. Por exemplo, a imagem poderia atravessar diretamente

como um fantasma ou empurrar o usuário irresistivelmente para fora do caminho. A última opção proporciona uma reprodução um pouco mais exata, porque então as imagens, até certo ponto, são tácteis além de visuais. Não é preciso haver perigo de eu me ferir quando minha imagem me empurra para o lado, mesmo que bruscamente, porque naturalmente eu não estou lá fisicamente. Se não houvesse espaço suficiente para eu sair do caminho, o gerador de realidade virtual poderia fazer com que eu fluísse sem esforço através de uma estreita fenda, ou mesmo poderia me teletransportar através de um obstáculo.

Não é somente sobre a imagem de mim mesmo que eu não posso causar outros efeitos. Como nós mudamos temporariamente de realidade virtual para geração de imagens, não posso afetar mais nada no ambiente simulado. Se há um copo d'água sobre a mesa, não posso mais pegá-lo e beber, como podia antes de passar através da porta giratória para o passado simulado. Solicitando uma simulação de viagem no tempo dirigida para o passado e não interativa, que é na verdade uma reprodução de eventos específicos de cinco minutos antes, eu necessariamente renuncio ao controle sobre o meu ambiente. Eu cedo o controle, por assim dizer, para o meu eu anterior.

Enquanto minha imagem entra na porta giratória, a hora, de acordo com o relógio, mais uma vez chegou a doze e cinco, embora se tenham passado dez minutos na simulação de acordo com minha percepção subjetiva. O que acontece em seguida depende do que eu fizer. Se eu ficar no laboratório, a próxima tarefa do gerador de realidade virtual deverá ser colocar-me em eventos que ocorrem depois de doze e cinco, hora do laboratório. Ele ainda não tem nenhuma gravação desses eventos, nem eu tenho lembrança alguma deles. Em relação a mim, ao laboratório simulado e à realidade física, esses eventos ainda não aconteceram, portanto o gerador de realidade virtual pode recomeçar sua reprodução totalmente interativa. O efeito líquido é de eu ter gasto cinco minutos no passado sem ser capaz de afetá-lo e então retornar para o "presente" que havia deixado, isto é, para a sequência normal de eventos que eu posso afetar.

Como alternativa, posso seguir minha imagem para dentro da máquina do tempo, percorrê-la com a imagem e sair para o passado do laboratório. O que acontece, então? Mais uma vez, o relógio indica meio-dia. Agora posso ver duas imagens do meu eu anterior. Uma delas vê a máquina do tempo pela primeira vez e não nota a minha presença nem a outra imagem. A segunda parece ver a primeira, mas não me vê. Eu posso ver ambas. Somente a

primeira imagem parece afetar qualquer coisa no laboratório. Desta vez, do ponto de vista do gerador de realidade virtual, nada de especial aconteceu no momento da viagem no tempo. Ele ainda está na configuração “interação desligada” e simplesmente continuando a reproduzir imagens de eventos de cinco minutos antes (do meu ponto de vista subjetivo), as quais agora alcançaram o momento em que comecei a ver uma imagem de mim mesmo.

Depois de se passarem outros cinco minutos, posso outra vez optar por entrar de novo na máquina do tempo, desta vez na companhia de duas imagens de mim mesmo (Figura 12.2). Se eu repetir o processo, depois de cada cinco minutos subjetivos aparecerá uma imagem adicional de mim mesmo. Cada imagem parecerá ver todas as outras que apareceram antes dela mesma (na minha experiência), mas nenhuma das que apareceram depois dela.

Se eu continuar a experiência por tanto tempo quanto for possível, o número máximo de cópias de mim mesmo que podem coexistir será limitado somente pela estratégia de evitação de colisões do gerador de imagens. Vamos assumir que ele tente tornar realisticamente difícil eu me espremer pela porta giratória juntamente com todas as minhas imagens. Então, finalmente, eu serei forçado a fazer alguma coisa além de viajar de volta para o passado com elas. Eu poderia esperar um pouco, entrar no compartimento depois delas e, neste caso, chegar ao laboratório um momento depois delas. Mas isso apenas adia o problema de superpopulação na máquina do tempo. Se eu continuar percorrendo esse laço, eventualmente todas as “fendas” para viajar no tempo dentro do período de cinco minutos depois do meio-dia serão preenchidas, obrigando-me a deixar a mim mesmo alcançar um tempo posterior do qual não haverá outros meios de retornar para aquele período. Isso também é uma propriedade que as máquinas do tempo teriam caso existissem fisicamente. Elas não somente são lugares, elas são lugares com capacidade finita para suportar o tráfego para o passado.

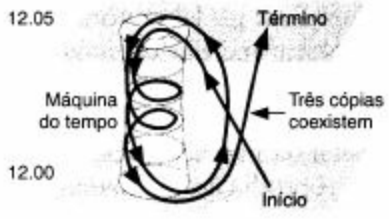


Figura 12.2 *O uso repetido da máquina do tempo permite a coexistência de múltiplas cópias do viajante no tempo.*

Outra consequência do fato de as máquinas do tempo não serem veículos, mas lugares ou caminhos, é que não se está completamente livre para escolher para qual tempo se pode usá-las para viajar. Como mostra este exemplo, pode-se usar uma máquina do tempo somente para viajar para tempos e lugares nos quais ela existiu. Em particular, não se pode usá-la para viajar de volta para uma época antes de sua construção ser terminada.

O gerador de realidade virtual agora tem gravações de muitas versões diferentes do que aconteceu naquele laboratório entre meio-dia e meio-dia e cinco. Qual delas retrata a história verdadeira? Não devemos nos preocupar se não houver resposta para essa questão, pois ela pergunta o que é real em uma situação em que nós suprimimos artificialmente a interatividade, tornando inaplicável o teste do Dr. Johnson. Poder-se-ia argumentar que apenas a última versão, a que retrata a maioria das cópias de mim mesmo, é a real, porque todas as versões anteriores na verdade mostram a história do ponto de vista das pessoas que, pela regra artificial da não interação, foram impedidas de ver totalmente o que estava acontecendo. Alternativamente, poder-se-ia argumentar que a primeira versão dos eventos, a que tem uma única cópia de mim, é a única real porque é a única que eu experimentei interativamente. Toda a questão da não interatividade é que estamos temporariamente impedindo nós mesmos de mudar o passado e, desde que versões subsequentes diferem da primeira, elas não retratam o passado. Tudo o que elas retratam é alguém vendo o passado por cortesia de um gerador universal de imagens.

Poder-se-ia também argumentar que todas as versões são igualmente reais. Afinal, quando tudo está terminado, eu me lembro de ter experimentado não apenas uma história do laboratório com duração daquele período de cinco minutos, mas vá¬rias histórias semelhantes. Eu as experimentei sucessivamente, mas, do ponto de vista do laboratório, todas elas aconteceram durante os mesmos cinco minutos. A gravação completa da minha experiência requer muitos instantâneos do laboratório para cada instante definido pelo relógio, em vez do habitual instantâneo único por instante. Em outras palavras, isso foi uma reprodução de universos paralelos. O resultado é que esta última interpretação é a mais próxima da verdade, como podemos ver fazendo o mesmo experimento novamente, desta vez com a interação ligada.

A primeira coisa que eu quero dizer sobre o modo interativo, no qual estou livre para afetar o ambiente, é que uma das coisas que posso escolher

que aconteça é a sequência exata de eventos que descrevi para o modo não interativo. Isto é, posso voltar e encontrar uma ou mais cópias de mim mesmo, não obstante (se eu. for um bom ator) me comporte exatamente como se não pudesse ver algumas delas. Contudo, devo observá-las cuidadosamente. Se eu quiser recriar a sequência de eventos que ocorreram quando fiz esse experimento com a interação desligada, devo lembrar o que as minhas cópias fazem, para que eu também possa fazer em visitas subsequentes a esse tempo.

No começo da sessão, quando vejo pela primeira vez a máquina do tempo, vejo-a imediatamente expelindo uma ou mais cópias de mim. Por quê? Porque, com a interação ligada, quando eu vier a usar a máquina do tempo ao meio-dia e cinco, terei o direito de afetar o passado para o qual eu retorno, e esse passado é o que está acontecendo agora, ao meio-dia. Assim, meu futuro eu ou meus futuros "eus" estão chegando para exercitar seu direito de afetar o laboratório ao meio-dia, de afetar a mim, e em particular de serem vistos por mim.

As minhas cópias cuidam da sua própria vida. Considere a tarefa computacional que o gerador de realidade virtual tem de executar para reproduzir essas cópias. Agora há um novo elemento que torna isso esmagadoramente mais difícil do que foi no modo não interativo. Como o gerador de realidade virtual descobrirá o que as minhas cópias irão fazer? Ele ainda não tem nenhuma gravação dessa informação, pois em tempo físico a sessão apenas começou. No entanto, ele deve me apresentar imediatamente reproduções do meu eu futuro.

Desde que eu esteja resolvido a fingir que não posso ver essas reproduções e então imitar o que quer que as veja fazer, elas não estarão sujeitas a um teste de exatidão muito severo. O gerador de realidade virtual só precisa fazer com que elas façam alguma coisa — qualquer coisa que eu poderia fazer ou, mais precisamente, qualquer comportamento que eu seja capaz de imitar. Dada a tecnologia em que pressupomos que o gerador de realidade virtual se baseia, isso presumivelmente não estaria excedendo sua capacidade. Ele tem um modelo matemático exato do meu corpo e um grau de acesso direto ao meu cérebro. Pode usar isso para calcular algum comportamento que eu poderia imitar e então fazer suas reproduções iniciais de mim terem esse comportamento.

Portanto, começo a experiência vendo algumas cópias de mim saindo da porta giratória e fazendo alguma coisa. Finjo não notá-las e, depois de cinco

minutos, passo pela porta giratória e imito o que vi anteriormente a primeira cópia fazendo. Cinco minutos depois passo novamente e imito a segunda cópia, e assim por diante. Enquanto isso, observo que uma das cópias sempre repete o que eu estive fazendo durante os primeiros cinco minutos. No final da sequência da viagem no tempo, o gerador de realidade virtual mais uma vez terá várias gravações do que aconteceu durante os cinco minutos depois do meio-dia, mas desta vez todas as gravações serão idênticas. Em outras palavras, aconteceu somente uma história, isto é, que encontrei meu eu futuro, mas fingi não notar. Mais tarde, eu me tornei esse eu futuro, viajei para trás no tempo para encontrar meu eu passado e aparentemente não fui notado. Isso tudo é muito arrumado e não paradoxal — e irreal. Foi conseguido pelo gerador de realidade virtual e eu nos empenhando em um jogo intrincado e mutuamente referencial: eu o imitava enquanto ele me imitava. Mas, com as interações normais ligadas, posso escolher não jogar esse jogo.

Se eu realmente tivesse acesso à viagem no tempo em realidade virtual, certamente deveria querer testar a autenticidade da reprodução. No caso que estamos discutindo, o teste começaria tão logo eu visse as cópias de mim. Longe de ignorá-las, eu imediatamente começaria a conversar com elas. Estou muito mais equipado para tes¬tar sua autenticidade do que o Dr. Johnson estaria para testar a de Júlio César. Para passar nesse teste inicial, as versões reproduzidas de mim teriam de ser efetivamente seres inteligentes artificiais — além disso, seres tão semelhantes a mim, pelo menos em suas respostas a estímulos externos, que poderiam me convencer de que são reproduções exatas de como eu poderia ser daqui a cinco minutos. O gerador de realidade virtual deve estar executando programas semelhantes à minha mente em conteúdo e complexidade. Mais uma vez, a dificuldade de escrever esses programas não é a questão aqui: estamos investigando o princípio da viagem no tempo em realidade virtual, não sua praticabilidade. Não importa de onde o nosso hipotético gerador de realidade virtual obtém seus programas, pois estamos perguntando se o conjunto de todos os programas possíveis inclui ou não um programa que reproduz a viagem no tempo com exatidão. Mas o nosso gerador de realidade virtual, em princípio, tem os meios para descobrir todas as maneiras possíveis em que eu poderia me comportar em várias situações. Essa informação está localizada no estado físico do meu cérebro, e medições suficientemente precisas, em princípio, poderiam lê-las. Um método (provavelmente inaceitável) de fazer isso seria o

gerador de realidade virtual fazer com que o meu cérebro interagisse, em realidade virtual, com um ambiente de teste, gravar seu comportamento e restaurar seu estado original, talvez reproduzindo de trás para a frente. O motivo de isto ser provavelmente inaceitável é que eu possivelmente experimentaria esse ambiente de teste e, embora não lembrasse dele depois, desejaria que o gerador de realidade virtual me desse as experiências que eu especificasse, e não outras.

De qualquer modo, o que importa para os objetivos atuais é que, como o meu cérebro é um objeto físico, o princípio de Turing diz que ele está dentro do repertório de um gerador de realidade virtual. Portanto, é possível, em princípio, a minha cópia passar no teste de ser semelhante a mim com exatidão. Mas esse não é o único teste que quero fazer. Eu quero, principalmente, testar se a própria viagem no tempo está sendo reproduzida com autenticidade. Para essa finalidade, quero descobrir não apenas se esta pessoa é autenticamente eu, mas se ela é autenticamente do futuro. Em parte posso testar isso interrogando-a. Ela deve dizer que se lembra de estar na minha posição cinco minutos atrás e de ter viajado pela porta giratória e me encontrado. Eu deveria também descobrir que ela está testando a minha autenticidade. Por que ela faria isso? Porque o meio mais direto e rigoroso pelo qual eu poderia testar sua semelhança com o eu futuro seria esperar até que eu tivesse passado pela máquina do tempo, e então procurar duas coisas: primeira, se a minha cópia que eu encontrasse lá se comportaria como eu lembro de ter me comportado; segundo, se eu me comportei como eu me lembro de a cópia ter se comportado.

Em ambos os casos, a reprodução certamente falharia no teste! Na minha primeira tentativa de me comportar de modo diferente do que me lembro da minha cópia, teria sucesso. E será quase tão fácil fazê-la comportar-se de modo diferente da maneira que eu me comportei: tudo o que preciso é fazer a ele uma pergunta que não me foi indagada, quando eu estava em seu lugar, e que tem uma resposta inconfundível. Portanto, por mais que sejam semelhantes a mim em aparência e personalidade, as pessoas que saem da máquina do tempo de realidade virtual não são reproduções autênticas da pessoa em que me tornarei em breve. Nem deveriam ser, afinal eu tenho a firme intenção de não me comportar como elas quando for a minha vez de usar a máquina do tempo e, como o gerador de realidade virtual agora está permitindo que eu interaja livremente com o ambiente reproduzido, não há nada que me impeça de pôr em prática essa intenção.

Vamos recapitular. Quando o experimento começa, encontro uma pessoa que pode ser reconhecida como eu, afora pequenas variações. Essas variações apontam consistentemente para ela ser do futuro: ela lembra o laboratório ao meio-dia e cinco, uma hora que, da minha perspectiva, ainda não chegou. Ela lembra de partir naquela hora, passando pela porta giratória e chegando ao meio-dia. Ela lembra de, antes de tudo isso, começar seu experimento ao meio-dia e ver a porta giratória pela primeira vez e ver cópias dela mesma saindo. Ela diz que isso aconteceu há mais de cinco minutos, de acordo com sua percepção subjetiva, embora de acordo com a minha todo o experimento ainda não levou cinco minutos. E assim por diante. Contudo, embora ela passe em todos os testes de ser uma versão de mim mesmo do futuro, pode ser demonstrado que não é o meu futuro. Quando eu testo se ela é a pessoa específica em que vou me tornar, o teste falha. De modo semelhante, ela me diz que eu falho no teste de ser o seu eu do passado, pois não estou fazendo exatamente o que ela lembra de ter feito. Portanto, quando viajo para o passado do laboratório, descubro que aquele não é o mesmo passado do qual acabei de vir. Por causa da sua interação comigo, a cópia de mim mesmo que encontro ali não se comporta da mesma forma que eu me lembro de ter me comportado.

Portanto, se o gerador de realidade virtual tivesse de gravar a totalidade do que acontece durante esta sequência de viagem no tempo, teria mais uma vez de armazenar vários instantâneos para cada instante, como definido pelo relógio do laboratório, e desta vez eles seriam todos diferentes. Em outras palavras, haveria várias histórias paralelas distintas do laboratório durante o período de viagem no tempo de cinco minutos. Novamente, experimentei cada uma dessas histórias por vez. Mas agora experimentei todas elas interativamente, portanto não há desculpa para dizer que qualquer uma delas é menos real do que as outras. Portanto, o que está sendo reproduzido é um pequeno multiverso. Se isto fosse viagem física no tempo, os múltiplos instantâneos de cada instante seriam universos paralelos. Dado o conceito quântico de tempo, não devemos nos surpreender com isso. Sabemos que os instantâneos que se empilham aproximadamente em uma única sequência de tempo na nossa experiência diária são na verdade universos paralelos. Normalmente não experimentamos os outros universos paralelos que existem ao mesmo tempo, mas temos razões para acreditar que eles estão lá. Portanto, se encontrarmos algum método, ainda não especificado, de viajar para um tempo anterior, por que deveríamos esperar que esse método necessariamente

levasse cada cópia de nós para o instantâneo particular que essa cópia já tivesse experimentado? Por que deveríamos esperar que cada visitante que recebemos do futuro se precipitasse dos instantâneos futuros específicos nos quais nós eventualmente nos encontraremos? Nós realmente não devemos esperar isso. Pedir permissão para interagir com o ambiente do passado significa pedir para alterá-lo, o que significa, por definição, pedir para estar em um instantâneo diferente daquele que lembramos. Um viajante no tempo retornaria ao mesmo instantâneo (ou, o que talvez seja a mesma coisa, a um instantâneo idêntico) somente no caso extremamente planejado que discuti anteriormente, no qual não ocorre nenhuma interação efetiva entre as cópias que se encontram e o viajante no tempo consegue tornar idênticas todas as histórias paralelas.

Agora deixe-me sujeitar a máquina do tempo de realidade virtual ao teste definitivo. Começarei deliberadamente a representar um paradoxo. Estabeleço a firme intenção que declarei acima: resolvo que, se uma cópia de mim mesmo sair da máquina do tempo ao meio-dia, eu não entrarei nela ao meio-dia e cinco ou em qualquer ocasião durante o experimento. Mas, se ninguém sair, então ao meio-dia e cinco eu entrarei na máquina do tempo, sairei ao meio-dia e não usarei a máquina do tempo outra vez. O que acontece? Alguém sairá da máquina do tempo ou não? Sim. E não!

Depende de qual universo estamos falando. Lembre que mais de uma coisa acontece naquele laboratório ao meio-dia. Suponha que eu não veja ninguém saindo da máquina do tempo, como é ilustrado no ponto marcado “Início” no lado direito da Figura 12.3- Então, agindo com a minha firme intenção espero até meio-dia e cinco e ando pela agora familiar porta giratória. Saindo ao meio-dia, encontro, é claro, outra versão de mim mesmo parada no ponto marcado “Início” no lado esquerdo da Figura 12.3- Enquanto conversamos, descubro que ela e eu tivemos a mesma intenção. Portanto, como eu saí para o universo dela, ela se comportará de maneira diferente da maneira que eu me comportei. Agir com a mesma intenção que a minha a leva a não usar a máquina do tempo. Desse momento em diante ela e eu podemos continuar a interagir por tanto tempo quanto durar a simulação, e haverá duas versões de mim naquele universo. No universo de onde eu vim, o laboratório permanece vazio depois do meio-dia e cinco, pois nunca retornei a ele. Não encontramos paradoxo. Ambas as versões de mim tiveram sucesso ao representar nossa intenção compartilhada — que portanto, afinal, não era logicamente incapaz de ser realizada.

Eu e meu alter ego nesse experimento tivemos experiências diferentes. Ele viu alguém saindo da máquina do tempo ao meio-dia, e eu não. Nossas experiências teriam sido igualmente fiéis à nossa intenção, e igualmente não paradoxais, se nossos papéis tivessem sido invertidos. Isto é, eu poderia tê-lo visto saindo da máquina do tempo ao meio-dia e eu mesmo não usá-la. Nesse caso, nós dois teríamos terminado no universo em que eu comecei. No universo em que ele começou, o laboratório permaneceria vazio.

Figura 12.3 *Caminhos no multiverso de um viajante no tempo tentando "representar um paradoxo".*

Qual dessas duas possibilidades autoconsistentes o gerador de realidade virtual me mostrará? Durante essa reprodução de um processo intrinsecamente múlti versal, eu represento apenas uma das duas cópias de mim mesmo; o programa reproduz a outra cópia. No começo do experimento, as duas cópias parecem idênticas (embora na realidade física elas sejam diferentes, porque somente uma delas está ligada a um corpo e cérebro físicos fora do ambiente virtual). Mas na versão física do experimento — se uma máquina do tempo existisse fisicamente — os dois universos contendo as cópias de mim que estavam indo se encontrar inicialmente seriam estritamente idênticos e ambas as cópias seriam igualmente reais. No momento do multiverso, quando nós nos encontrássemos (em um universo) ou não nos encontrássemos (no outro), essas duas cópias se tornariam diferentes. Não tem significado perguntar qual cópia de mim teria qual experiência: uma vez que somos idênticas, não existe "qual" de nós. Universos paralelos não têm números de série ocultos: são distinguidos somente pelo que acontece neles. Portanto, ao reproduzir tudo isso para o benefício de uma cópia de mim, o gerador de realidade virtual deve recriar para mim o efeito da existência de duas cópias idênticas que então se tornam diferentes e têm experiências diferentes. Ele pode fazer com que isso aconteça literalmente escolhendo aleatoriamente, com probabilidades iguais, qual dos dois papéis aquele interpretará (e portanto, dada a minha intenção,

qual papel eu representarei). Pois escolher aleatoriamente significa na verdade jogar uma versão eletrônica de uma moeda justa, e uma moeda justa é a que mostra “cara” em metade dos universos nos quais é lançada e “coroa” na outra metade. Portanto, em metade dos universos interpretarei um papel e na outra metade, o outro. Isso é exatamente o que aconteceria com uma máquina do tempo verdadeira.

Vimos que a habilidade de um gerador de realidade virtual reproduzir a viagem no tempo com exatidão depende de ele ter informações detalhadas sobre o estado de espírito do usuário. Isso pode fazer com que alguém imagine rapidamente se os paradoxos têm sido evitados genuinamente. Se o gerador de realidade virtual sabe com antecedência o que vou fazer, estou realmente livre para efetuar quaisquer testes que escolher? Não precisamos entrar em nenhuma questão profunda sobre a natureza do livre-arbítrio. Na verdade sou livre para fazer o que quiser nesse experimento, no sentido de que, para todos os modos possíveis que eu possa optar por reagir ao passado simulado — inclusive aleatoriamente, se quiser — o gerador de realidade virtual me permite reagir daquele modo. E todos os ambientes com os quais interajo são afetados pelo que faço e reagem de volta sobre mim precisamente da mesma maneira que reagiriam se a viagem no tempo não estivesse ocorrendo.

A razão pela qual o gerador de realidade virtual precisa de informações do meu cérebro não é para prever as minhas ações, mas para reproduzir o comportamento das minhas contrapartes de outros universos. Seu problema é que na versão real desta situação haveria contrapartes minhas de universos paralelos, inicialmente idênticas e portanto possuindo as mesmas tendências que eu e tomando as mesmas decisões. (Mais longe no multiverso haveria também outras versões que já seriam diferentes de mim no início do experimento, mas uma máquina do tempo nunca me faria encontrá-las.) Se houvesse alguma outra maneira de reproduzir essas pessoas, o gerador de realidade virtual não precisaria de nenhuma informação do meu cérebro, nem dos prodigiosos recursos de computação que temos imaginado. Por exemplo, se algumas pessoas que me conhecem bem fossem capazes de me imitar com algum grau de exatidão (à parte atributos externos como aparência e tom de voz, que são relativamente fáceis de reproduzir), o gerador de realidade virtual poderia usar essas pessoas para encenar os papéis das minhas contrapartes de universos paralelos e, dessa forma, reproduzir a viagem no tempo com o mesmo grau de exatidão.

Uma máquina de tempo real, é claro, não encontraria esses problemas. Ela simplesmente forneceria caminhos ao longo dos quais eu e minhas contrapartes, que já existiam, poderíamos nos encontrar, e não restringiria nem o nosso comportamento nem nossas interações quando nos encontrássemos. As maneiras de os caminhos se interconectarem — isto é, para quais instantâneos a máquina do tempo levaria — seriam afetadas pelo meu estado físico, incluindo meu estado de espírito. Isso não é diferente da situação habitual, na qual o meu estado físico, como refletido na minha tendência para me comportar de várias maneiras, afeta o que acontece. A grande diferença entre isto e a experiência diária é que cada cópia de mim tem potencialmente um grande efeito sobre outros universos (por viajar para eles).

Ser capaz de viajar para o passado de outros universos, mas não do nosso, é realmente equivalente a viajar no tempo? É apenas a viagem interuniversos que faz sentido, em vez da viagem no tempo? Não. Os processos que descrevi realmente são viagem no tempo. Em primeiro lugar, não é o caso de não podermos viajar para um instantâneo onde já estivemos. Se arranjarmos as coisas corretamente, podemos. É claro que, se mudarmos alguma coisa no passado — se o fizermos diferente de como ele era no passado do qual viemos — nos encontraremos em um passado diferente. A viagem no tempo completamente desenvolvida nos permitiria mudar o passado. Em outras palavras, ela nos permite tornar o passado diferente da maneira que nos lembramos (neste universo). Isso significa diferente da maneira que ele realmente é, nos instantâneos nos quais não chegamos a mudar coisa alguma. E isso inclui, por definição, os instantâneos em que lembramos ter estado.

Portanto, querer alterar os instantâneos específicos do passado nos quais estivermos realmente não faz sentido. Mas isso não tem nada a ver com a viagem no tempo. É um absurdo que nasce diretamente da teoria clássica e absurda do fluxo do tempo. Mudar o passado significa escolher em qual instantâneo do passado queremos estar, não transformar qualquer instantâneo específico do passado em outro. A esse respeito, alterar o passado não é diferente de alterar o futuro, o que fazemos o tempo todo. Sempre que fazemos uma escolha, mudamos o futuro: nós o alteramos do que teria sido se escolhêssemos de modo diferente. Essa ideia não teria sentido na física clássica do espaço-tempo, com seu único futuro determinado pelo presente. Mas faz sentido na física quântica. Quando fazemos uma escolha, alteramos o

futuro do que ele será em universos nos quais escolhemos de maneira diferente. Mas, em nenhum caso, algum instantâneo específico no futuro se altera. Ele não pode mudar, pois não existe fluxo do tempo em relação ao qual ele poderia mudar. “Alterar” o futuro significa escolher em qual instantâneo estaremos; “alterar” o passado significa exatamente a mesma coisa. Porque não existe fluxo do tempo, não existe como alterar determinado instantâneo do passado, tal qual um instantâneo em que lembramos ter estado. Não obstante, se de alguma forma tivermos acesso físico ao passado, não há motivo para não podermos alterá-lo precisamente no sentido em que alteramos o futuro, ou seja, escolhendo estar em um instantâneo diferente do que estaríamos se tivéssemos escolhido de outra maneira.

Argumentos da realidade virtual ajudam a entender a viagem no tempo porque o conceito de realidade virtual exige que se levem a sério “eventos contrafactuais” e, portanto, o conceito quântico de tempo do multiuniverso parece natural quando reproduzido em realidade virtual. Vendo que a viagem no tempo direcionada para o passado está dentro do repertório de um gerador universal de realidade virtual, aprendemos que a ideia da viagem no tempo para o passado faz sentido perfeitamente. Mas isso não quer dizer que necessariamente ela é fisicamente atingível. Afinal, viagem com velocidade maior que a da luz, máquinas de movimento perpétuo e muitas outras impossibilidades físicas são possíveis na realidade virtual. Nenhuma quantidade de raciocínio sobre a realidade virtual pode provar que dado processo é permitido pelas leis da física (embora possa ser provado que não é: se tivéssemos alcançado a conclusão oposta, implicaria, por meio do princípio de Turing, que a viagem no tempo não pode ocorrer fisicamente). Portanto, o que as nossas conclusões positivas sobre a viagem no tempo em realidade virtual nos dizem sobre a física?

Elas nos dizem como a viagem no tempo pareceria se tivesse ocorrido. Elas nos dizem que a viagem no tempo para o passado seria inevitavelmente um processo estabelecido em vários universos interconectados e em interação. Nesse processo, os participantes em geral viajariam de um universo para outro sempre que viajassem no tempo. As maneiras precisas pelas quais os universos foram conectados dependeriam, entre outras coisas, do estado de espírito dos participantes.

Portanto, para que a viagem no tempo seja fisicamente possível, é necessário haver um multiverso. E é necessário que as leis físicas que governam o multiverso sejam tais que, na presença de uma máquina do

tempo e potenciais viajantes do tempo, os universos se tornem interconectados da maneira que descrevi, e não de qualquer outra maneira. Por exemplo, se eu não vou usar uma máquina do tempo, aconteça o que acontecer, nenhuma versão de mim mesmo tem de aparecer no meu instantâneo; isto é, nenhum universo no qual versões de mim usam uma máquina do tempo pode se tornar conectado com o meu universo. Se definitivamente eu vou usar a máquina do tempo, meu universo tem de se tornar conectado com outro universo no qual eu também definitivamente a uso. E se vou tentar representar um "paradoxo", como vimos, meu universo deve se tornar conectado com outro no qual uma cópia de mim tem a mesma intenção, mas ao realizar essa intenção acaba se comportando de modo diferente de mim. Notadamente, tudo isso é precisamente o que a teoria quântica prevê. Em resumo, o resultado é que, se existem caminhos para o passado, os viajantes neles estão livres para interagir com seu ambiente da mesma forma que poderiam se os caminhos não conduzissem ao passado. Em nenhum caso a viagem no tempo se torna inconsistente ou impõe restrições especiais ao comportamento dos viajantes.

Isso nos deixa com a questão de se é fisicamente possível existirem caminhos para o passado. Essa questão tem sido objeto de muita pesquisa e ainda é altamente controversa. O ponto de partida habitual é um conjunto de equações que formam a base (previsiva) da teoria da relatividade geral de Einstein, atualmente nossa melhor teoria sobre espaço e tempo. Essas equações, conhecidas como equações de Einstein, têm muitas soluções, cada uma descrevendo uma possível configuração quadridimensional de espaço, tempo e gravidade. As equações de Einstein certamente permitem a existência de caminhos para o passado; muitas soluções com essa propriedade foram descobertas. Até recentemente, a prática aceita tem sido sistematicamente ignorar essas soluções. Mas isso não se deve a nenhuma razão surgida de dentro da teoria, nem a algum argumento dentro da física. Tem sido assim porque os físicos estavam sob a impressão de que a viagem no tempo "levaria a paradoxos", e que essas soluções das equações de Einstein devem portanto ser "não-físicas". Essa segunda adivinhação arbitrária é uma reminiscência do que aconteceu nos primeiros anos da relatividade geral, quando as soluções que descreviam o Big Bang e um universo em expansão forem rejeitadas pelo próprio Einstein. Ele tentou mudar as equações para que pudessem descrever um universo estático. Mais tarde ele se referiu a isso como o maior erro da sua vida, e a expansão foi

verificada experimentalmente pelo astrônomo americano Edwin Hubble. Durante muitos anos também as soluções obtidas pelo astrônomo alemão Karl Schwarzschild, que foram as primeiras a descrever buracos negros, foram erroneamente rejeitadas como “não-físicas”. Elas descreviam fenômenos contra intuitivos como uma região da qual, em princípio, é impossível escapar, e forças gravitacionais tornando-se infinitas no centro do buraco negro. A visão predominante atualmente é que os buracos negros existem e têm as propriedades previstas pelas equações de Einstein.

Tomadas literalmente, as equações de Einstein preveem que a viagem para o passado seria possível na vizinhança de objetos maciços e girantes, como buracos negros, se girassem suficientemente rápidos, e em certas outras situações. Mas muitos físicos duvidam que essas previsões sejam realistas. Nenhum buraco negro girando com rapidez suficiente é conhecido, e já foi argumentado (inconclusivamente) que pode ser impossível girar um deles artificialmente, porque qualquer material girando rapidamente que fosse disparado para dentro poderia ser atirado para fora e tornar-se incapaz de entrar no buraco negro. Os céticos podem estar certos, mas é injustificável a sua relutância em aceitar a possibilidade da viagem no tempo com base na crença de que ela leva a paradoxos.

Mesmo quando as equações de Einstein tiverem sido mais bem entendidas, elas não fornecerão respostas conclusivas sobre o assunto da viagem no tempo. A teoria da relatividade geral precede a teoria quântica e não é totalmente compatível com ela. Até agora ninguém teve sucesso em formular uma versão quântica satisfatória — uma teoria quântica da gravidade. No entanto, partindo dos argumentos que apresentei, os efeitos quânticos seriam dominantes nas situações de viagem no tempo. As versões candidatas típicas a uma teoria quântica da gravidade não apenas permitem que conexões direcionadas para o passado existam no multiverso, como preveem que essas conexões estão continuamente se formando e se quebrando espontaneamente. Isso acontece por toda parte no espaço e tempo, mas apenas em escala submicroscópica. O típico caminho formado por esses efeitos tem cerca de 10'35 metros de lado a lado, permanece aberto durante um tempo de Planck (cerca de 10'43 segundos) e, portanto, só alcança cerca de um tempo de Planck no passado.

A viagem no tempo direcionada para o futuro, que essencialmente requer apenas foguetes eficientes, está no horizonte tecnológico moderadamente distante mas confiável mente previsível. A viagem no tempo

direcionada para o passado, que requer a manipulação de buracos negros, ou alguma disrupção violenta semelhante da estrutura do espaço e do tempo, será praticável apenas no futuro remoto, se for. Atualmente, não sabemos de nada nas leis da física que exclua a viagem no tempo direcionada para o passado; ao contrário, elas tornam plausível a possibilidade dessa viagem. Futuras descobertas na física fundamental podem mudar isso. Talvez se descubra que as flutuações quânticas no espaço e no tempo se tornam esmagadoramente fortes perto das máquinas do tempo e efetivamente selam sua entrada (Stephen Hawking, por exemplo, argumentou que alguns cálculos seus tornam isso possível, mas seu argumento é inconclusivo). Ou algum fenômeno até agora desconhecido talvez exclua a viagem no tempo dirigida para o passado — ou forneça um método novo e mais fácil de consegui-la. Não se pode prever o futuro crescimento do conhecimento. Mas se o futuro desenvolvimento da física fundamental continuar a permitir a viagem no tempo, em princípio, então sua consecução prática certamente se tornará mero problema tecnológico que finalmente acabará por ser solucionado.

Em razão de nenhuma máquina oferecer caminhos para tempos anteriores ao momento em que ela passou a existir e devido à maneira como a teoria quântica diz que os universos são interconectados, existem alguns limites para o que podemos esperar aprender usando máquinas do tempo. Uma vez que tenhamos construído uma, mas não antes, poderemos esperar que visitantes, ou pelo menos mensagens, do futuro saiam dela. O que eles nos dirão? Uma coisa que eles certamente não nos darão são notícias do nosso próprio futuro. O pesadelo determinista da profecia de uma condenação futura inevitável, criado apesar — ou talvez como a verdadeira consequência — das nossas tentativas para evitá-lo, é apenas matéria-prima de mito e ficção científica. Visitantes do futuro não podem conhecer o nosso futuro, não mais do que nós mesmos, pois eles não vieram de lá. Mas podem nos contar sobre o futuro do seu universo, cujo passado foi idêntico ao nosso. Eles podem trazer notícias e programas de casos atuais gravados em fita e jornais com datas começando de amanhã e prosseguindo para diante. Se a sua sociedade tomou alguma decisão errada que levou ao desastre, eles poderão nos alertar sobre isso. Nós podemos ou não seguir o seu conselho. Se seguirmos, poderemos evitar o desastre ou — não há garantias — achar que o resultado é ainda pior do que o aconteceu com eles.

Na média, porém, presume-se que teríamos grandes benefícios ao estudar sua história futura. Apesar de não ser a nossa história futura, e

embora saber de um possível desastre iminente não seja a mesma coisa que saber o que fazer a respeito, presumivelmente aprenderíamos muito com esse registro detalhado do que poderia acontecer, do nosso ponto de vista.

Nossos visitantes poderiam trazer detalhes de grandes realizações científicas e artísticas. Se elas foram alcançadas no futuro próximo do outro universo, é provável que contrapartes das pessoas que as realizaram existissem no nosso universo e poderiam já estar trabalhando para essas realizações. De repente, elas seriam presenteadas com versões completas do seu trabalho. Elas seriam gratas? Aqui existe outro paradoxo aparente da viagem no tempo. Como ele não parece criar inconsistências, mas apenas curiosidades, foi discutido mais em ficção do que em argumentos científicos contra a viagem no tempo (embora alguns filósofos, como Michael Dummett, o tenham levado a sério). Eu o chamo de paradoxo do conhecimento da viagem no tempo; aqui está a história típica. Um futuro historiador com interesse em Shakespeare usa uma máquina do tempo para visitar o grande teatrólogo na ocasião em que ele está escrevendo Hamlet. Eles têm uma conversa, durante a qual o viajante do tempo mostra a Shakespeare o texto do solilóquio “Ser ou não ser” de Hamlet, que ele trouxe do futuro. Shakespeare gosta dele e o incorpora na peça. Em outra versão, Shakespeare morre e o viajante do tempo assume sua identidade, alcançando sucesso ao fingir escrever peças que secretamente copia das Obras Completas de Shakespeare, que trouxe consigo do futuro. Em mais outra versão, o viajante do tempo está perplexo por não conseguir localizar Shakespeare. Através de uma cadeia de acontecimentos, ele se acha personalizando Shakespeare e, mais uma vez, plagiando suas peças. Ele gosta da vida e anos mais tarde percebe que se tornou o Shakespeare: nunca existiu outro.

Incidentalmente, a máquina do tempo dessas histórias deveria ser provida por alguma civilização extraterrestre que já tivesse alcançado a viagem no tempo na época de Shakespeare e que desejasse permitir ao nosso historiador usar uma das suas fendas escassas e não renováveis para viajar para aquela época. Ou talvez (até menos provável, creio eu) poderia haver uma máquina do tempo utilizável ocorrendo naturalmente na vizinhança de algum buraco negro.

Todas essas histórias relatam uma cadeia — ou melhor, um círculo — perfeitamente consistente de eventos. A razão de elas serem enigmáticas e merecerem ser chamadas de paradoxos está em outra parte. É que, em cada história, boa literatura passa a existir sem que ninguém a tenha escrito:

ninguém a escreveu originalmente, ninguém a criou. E essa proposição, embora logicamente consistente, contradiz profundamente o nosso entendimento sobre de onde vem o conhecimento. De acordo com os princípios epistemológicos que apresentei no Capítulo 3, o conhecimento não passa a existir completamente formado. Ele existe somente como resultado de processos criativos, que são processos evolutivos passo a passo, sempre começando com um problema e prosseguindo com novas tentativas de teorias, críticas e eliminação de erros para uma nova e preferível situação problemática. Foi assim que Shakespeare escreveu suas peças. Foi como Einstein descobriu suas equações de campo. E como todos nós temos sucesso em solucionar qualquer problema, grande ou pequeno, na nossa vida ou na criação de qualquer coisa de valor.

É também a maneira de novas espécies vivas passarem a existir. Neste caso, o análogo de um "problema" é um nicho ecológico. As "teorias" são genes, e as tentativas de novas teorias são genes transformados. A "crítica" e a "eliminação de erros" são a seleção natural. O conhecimento é criado por ação humana intencional, as adaptações biológicas por um mecanismo cego e sem mente. As palavras que usamos para descrever os dois processos são diferentes e os processos são fisicamente dessemelhantes também, mas as leis detalhadas da epistemologia que governam ambos são as mesmas. Em um caso elas são chamadas de teoria de Popper do crescimento do conhecimento científico; no outro, de teoria de Darwin da evolução. Poder-se-ia formular um paradoxo do conhecimento, da mesma forma, em termos de espécies viventes. Digamos que tenhamos levado alguns mamíferos em uma máquina do tempo para a era dos dinossauros, quando os mamíferos ainda não existiam como resultando da evolução das espécies. Ali, soltamos os mamíferos. Os dinossauros morrem e nossos mamíferos assumem. Assim, novas espécies vêm a existir sem ter evoluído. É ainda mais fácil ver por que esta versão é filosoficamente inaceitável: ela implica uma origem não darwiniana das espécies e, especificamente, em criacionismo. Reconhecidamente nenhum Criador, no sentido tradicional, é invocado. Não obstante, a origem das espécies nessa história é notadamente sobrenatural: a história não dá explicações — e descarta a possibilidade de haver explicação — de como as adaptações específicas e complexas das espécies a seus nichos chegaram lá.

Desta maneira, as situações de paradoxo do conhecimento violam princípios epistemológicos ou, se quiser, evolutivos. Elas são paradoxais

somente porque envolvem a criação, a partir do nada, de conhecimentos humanos complexos ou de adaptações biológicas complexas. Histórias análogas com outros tipos de objeto ou informação no laço não são paradoxais. Observe um seixo em uma praia; depois viaje de volta para ontem, localize o seixo em algum outro lugar e mova-o para onde você irá encontrá-lo. Por que você o achou naquele local específico? Porque você o colocou ali. Por que você o colocou ali? Porque o encontrou ali. Você fez com que alguma informação (a posição do seixo) viesse a existir em um laço autoconsistente. Mas e daí? O seixo tinha de estar em algum lugar. Desde que a história não implique obter alguma coisa do nada, por meio de conhecimento ou adaptação, não é um paradoxo.

Na visão de multiverso, o viajante no tempo que visita Shakespeare não veio do futuro daquela cópia de Shakespeare. Ele pode afetar, ou talvez substituir, a cópia que visita. Mas nunca pode visitar a cópia que existiu no universo do qual ele partiu. E foi essa cópia que escreveu as peças. Portanto, as peças tiveram um autor autêntico e não existem laços paradoxais do tipo imaginado na história. O conhecimento e a adaptação são, mesmo na presença de caminhos para o passado, trazidos à existência apenas incrementalmente, por atos da criatividade humana ou da evolução biológica, e de nenhuma outra maneira.

Eu gostaria de poder afirmar que esse requisito é também rigorosamente implementado pelas leis que a teoria quântica impõe ao multiverso. Espero que seja, mas isso é difícil de provar porque é difícil expressar a propriedade desejada na linguagem atual da física teórica. Qual fórmula matemática distingue “conhecimento” ou “adaptação” de informações inúteis? Que atributos físicos distinguem um processo “criativo” de um não criativo? Embora não possamos ainda responder a essas perguntas, não creio que a situação seja desesperadora. Lembre-se das conclusões do Capítulo 8, sobre o significado da vida e do conhecimento no multiverso. Eu afirmei ali (por razões não relacionadas com a viagem no tempo) que a criação do conhecimento e a evolução biológica são processos físicos significativos. E uma das razões foi que esses processos, e somente esses, têm um efeito particular sobre os universos paralelos — ou seja, de criar uma estrutura transuniverso tornando-os semelhantes. Quando, um dia, entendermos os detalhes desse efeito, poderemos definir o conhecimento, a adaptação, a criatividade e a evolução em termos da convergência dos universos.

Quando eu “represento um paradoxo”, existem eventualmente duas

cópias de mim em um universo e nenhuma no outro. É uma regra geral que, depois de ocorrer a viagem no tempo, o número total de cópias de mim, contadas em todos os universos, permanece inalterado. De modo semelhante, as leis da conservação de massa e energiza e outras quantidades físicas continuam se mantendo para o multiverso como um todo, embora não necessariamente em algum universo particular. Entretanto, não existe lei da conservação para o conhecimento. A posse de uma máquina do tempo nos permitiria acesso ao conhecimento a partir de uma fonte inteiramente nova, ou seja, a criatividade de mentes de outros universos. Elas poderiam também receber conhecimento de nossa parte, de forma que se pode falar de um "intercâmbio" de conhecimento — e na verdade em uma troca de artefatos que incorporam conhecimento — através de muitos universos. Mas não se pode tomar essa analogia muito literalmente. O multiverso nunca será uma área de livre-comércio porque as leis da mecânica quântica impõem restrições drásticas sobre quais instantâneos podem ser conectados a quais outros. Em primeiro lugar, dois universos são conectados pela primeira vez somente no momento em que eles são idênticos: tornar-se conectados faz com que eles comecem a divergir. E somente quando essas diferenças se acumularam e o novo conhecimento foi criado em um universo e enviado de volta no tempo para o outro que poderíamos receber conhecimento que ainda não existe no nosso universo.

Uma maneira mais precisa de pensar no "intercâmbio" de conhecimento entre universos é pensar em todos os nossos processos de geração de conhecimento, em toda a nossa cultura e civilização e em todos os processos de pensamento na mente de todos os indivíduos e, realmente, a biosfera inteira em evolução também como sendo uma gigantesca computação. A coisa toda está executando um programa de computador auto motivado e auto gerador. Mais especificamente, ela é, como mencionei, um programa de realidade virtual no processo de reproduzir, com exatidão cada vez maior, o todo da existência. Em outros universos existem outras versões desse gerador de realidade virtual, alguns idênticos, outros muito diferentes. Se um dos geradores tivesse acesso a uma máquina do tempo, ele poderia receber alguns dos resultados das computações efetuadas por suas contrapartes em outros universos, até onde as leis da física permitissem o intercâmbio de informações requerido. Cada pedaço de conhecimento que se obtém de uma máquina do tempo teve um autor em algum lugar do multiverso, mas pode beneficiar inúmeros universos diferentes. Portanto, uma máquina do tempo é

um recurso computacional que permite que certos tipos de cálculo sejam efetuados com muito maior eficiência do que seriam em qualquer computador individual. Ela alcança essa eficiência compartilhando o trabalho de cálculo entre cópias dela mesma em diferentes universos.

Na ausência de máquinas do tempo, há tendência para haver muito pouco intercâmbio de informações entre universos, porque as leis da física preveem, nesse caso, muito pouco contato casual entre eles. Até um bom grau de aproximação, o conhecimento criado em um conjunto de instantâneos idênticos alcança relativamente poucos outros instantâneos, ou seja, aqueles que estão empilhados em espaços-tempos para o futuro dos instantâneos originais. Mas isso é somente uma aproximação. Os fenômenos de interferência são o resultado de contato casual entre universos próximos. Vimos no Capítulo 9 que mesmo este minúsculo nível de contato pode ser usado para trocar informações significativas e computacionalmente úteis entre universos.

O estudo da viagem no tempo oferece uma arena — embora atualmente apenas uma arena teórica, de experimento de pensamento — na qual podemos ver em maior escala algumas das conexões entre o que chamo de "quatro elementos principais". Todos os quatro elementos têm papéis essenciais na explicação da viagem no tempo. A viagem no tempo poderá ser conseguida um dia, ou não. Mas se for, não deverá exigir nenhuma mudança fundamental na visão de mundo, pelo menos para os que compartilham amplamente a visão de mundo que apresento neste livro. Todas as conexões que ela poderia estabelecer entre o passado e o futuro são compreensíveis e não paradoxais. E todas as conexões que seriam necessárias, entre campos aparentemente desconexos do conhecimento, estão lá de qualquer forma.

Terminologia Empregada no Capítulo

Viagem no tempo — Somente a viagem no tempo direcionada para o passado é que merece esse nome.

Direcionada para o passado — Na viagem no tempo direcionada para o passando, o viajante experimenta o mesmo instante, como definido por relógios e calendários externos, mais de uma vez em sucessão subjetiva.

Direcionada para o futuro — Na viagem no tempo direcionada para o futuro, o viajante alcança um instante posterior em tempo subjetivo mais curto do que o definido por relógios e calendários externos.

Máquina do tempo — Um objeto físico que capacita o usuário a viajar para o passado. E mais bem visto como um lugar, ou caminho, do que como

um veículo.

Paradoxo da viagem no tempo — Uma situação aparentemente impossível que o viajante do tempo poderia criar se a viagem no tempo fosse possível.

Paradoxo do avô — Um paradoxo no qual alguém viaja para o passado e impede a si mesmo de fazer a viagem.

Paradoxo do conhecimento — Um paradoxo no qual o conhecimento é criado do nada por meio de viagem no tempo.

Resumo

A viagem no tempo poderá ou não ser conseguida um dia, mas não é paradoxal. Se alguém viaja para o passado, conserva sua liberdade de ação normal, mas em geral acaba chegando ao passado de um universo diferente. O estudo da viagem no tempo é uma área de estudo teórico na qual todos os meus quatro elementos principais são significativos: a mecânica quântica, com seus universos paralelos e o conceito quântico de tempo; a teoria da computação, por causa das conexões entre a realidade virtual e a viagem no tempo, e porque as características distintas da viagem no tempo podem ser analisadas como novos modos de computação; e a epistemologia e a teoria da evolução, devido às restrições que impõem sobre como o conhecimento pode vir a existir.

Não somente os quatro elementos estão relacionados como parte da estrutura da realidade, mas também existem notáveis paralelos entre os quatro campos do conhecimento como tal. As quatro teorias básicas possuem o “status” inusitado de serem simultaneamente aceitas e rejeitadas, confiáveis e desacreditadas, pela maioria das pessoas que trabalham nesses campos.

13 Os Quatro Elementos

Um estereótipo do processo científico extensamente difundido é o do jovem inovador e idealista opondo-se aos velhos conservadores do establishment científico. Os conservadores, inflexíveis na confortável ortodoxia da qual se fizeram tanto defensores quanto prisioneiros, ficam enfurecidos diante de qualquer desafio a ela. Eles se comportam irracionalmente, recusam-se a ouvir críticas, entrar em discussões ou aceitar evidências e tentam suprimir as ideias dos inovadores.

Esse estereótipo foi elevado a uma filosofia por Thomas Kuhn, autor do influente livro A Estrutura das Revoluções Científicas. De acordo com Kuhn, o establishment científico é definido pela crença de seus membros no conjunto das teorias predominantes, que juntas formam uma visão de mundo ou paradigma. Um paradigma é o aparato psicológico e teórico por meio do qual seus defensores observam e explicam tudo em sua experiência. (Dentro de qualquer área de conhecimento razoavelmente auto contida, como a física, pode-se também falar de “paradigma” dentro desse campo.) Se alguma observação parecer violar o paradigma relevante, seus defensores simplesmente ficam cegos à violação. Quando confrontados com a evidência, eles são obrigados a considerá-la uma “anomalia”, um erro experimental, uma fraude — qualquer coisa que lhes permita manter o paradigma inviolável. Assim, Kuhn acredita que os valores científicos de abertura à crítica e tentativas de aceitar teorias, os métodos científicos dos testes experimentais e o abandono de teorias predominantes, quando refutadas, são em grande parte mitos que não seriam humanamente possíveis de ser representados ao lidar com qualquer problema científico significativo.

Kuhn aceita que, para problemas científicos insignificantes, alguma coisa como um processo científico (como foi mostrado no Capítulo 3) realmente acontece. Pois para ele, a ciência prossegue em eras alternadas: existe “ciência normal” e “ciência revolucionária”. Durante uma era de ciência normal, quase todos os cientistas acreditam nas teorias fundamentais predominantes e tentam adaptar todas as suas observações e teorias secundárias àquele paradigma. Sua pesquisa consiste em unir as pontas, melhorar as aplicações práticas das teorias, classificar, reformular e confirmar. Onde é aplicável, eles podem usar métodos que são científicos no sentido popperiano, mas nunca descobrem alguma coisa fundamental porque

nunca questionam alguma coisa fundamental. Então chegam alguns encrenqueiros jovens que negam algum princípio fundamental do paradigma existente. Isso não é realmente crítica científica, pois os encrenqueiros também não são acessíveis à razão. Eles apenas veem o mundo através de um paradigma novo e diferente. Como eles adquirem esse paradigma? A pressão da evidência acumulada e a deselegância de explicá-la sob o velho paradigma finalmente os alcança. (É justo, embora difícil, ver como se poderia sucumbir à pressão na forma de evidência à qual, hipoteticamente, se é cego.) De qualquer forma, uma era de ciência "revolucionária" se inicia. A maioria, que ainda está tentando fazer ciência "normal" no velho paradigma, reage a qualquer preço — interferindo em publicações, excluindo os heréticos dos postos acadêmicos e assim por diante. Os heréticos conseguem encontrar meios de publicar, ridicularizam os velhos conservadores e tentam se infiltrar em instituições influentes. O poder explicativo do novo paradigma, em seus próprios termos (pois em termos do velho paradigma suas explicações parecem extravagantes e inconvincentes), atrai recrutas das fileiras dos jovens cientistas descomprometidos. Também pode haver desertores em ambas as direções. Alguns dos velhos conservadores morrem. Eventualmente um ou outro lado ganha. Se os heréticos ganham, tornam-se o novo establishment científico e defendem o seu novo paradigma tão cegamente quanto o antigo defendia o dele; se perdem, tornam-se uma nota de rodapé na história científica. Em qualquer dos casos, a ciência "normal" reassume.

Essa visão kuhniana do processo científico parece natural para muitas pessoas. Parece explicar as repetidas e dissonantes mudanças que a ciência tem imposto ao pensamento moderno, em termos de atributos e impulsos humanos cotidianos com os quais todos nós estamos familiarizados: preconcepções e preconceitos fortemente estabelecidos, cegueira para qualquer evidência de que se está errado, a supressão da dissensão por interesses investidos, o desejo de uma vida sossegada e assim por diante. E em oposição há a rebeldia da juventude, a busca por novidades, a alegria de violar tabus e a luta pelo poder. Outro atrativo das ideias de Kuhn é que ele coloca os cientistas em seu devido lugar. Eles não podem mais alegar que são nobres buscadores da verdade que usam os métodos racionais de conjetura, crítica e testes experimentais para solucionar problemas e criar explicações cada vez melhores do mundo. Kuhn revela que eles são apenas times rivais em um jogo sem fim pelo controle do território.

A própria ideia de um paradigma é irrepreensível. Nós observamos e

entendermos o mundo por meio de uma coleção de teorias, e isso constitui um paradigma. Mas Kuhn está enganado ao pensar que manter um paradigma nos cega para os méritos de outro paradigma, ou nos impede de trocar paradigmas ou de compreender dois paradigmas ao mesmo tempo. (Para uma discussão sobre as implicações mais amplas desse engano, consulte The Myth of the Framework, de Popper.) Deve-se admitir que sempre existe o perigo de subestimar ou perder completamente o poder explicativo de uma nova e fundamental teoria avaliando-a de dentro da estrutura conceitual da velha teoria. Mas é apenas um perigo e, com cuidado e integridade intelectual sufi¬cientes, podemos evitá-lo.

Também é verdade que as pessoas, inclusive os cientistas, e especialmente aquelas em posições de poder, tendem a vincular-se à maneira predominante de fazer as coisas e podem suspeitar de novas ideias quando estão perfeitamente à vontade com as velhas. Ninguém pode alegar que todos os cientistas são uniforme e escrupulosamente racionais em seu julgamento das ideias. A lealdade injustificada a paradigmas é na verdade uma causa frequente de controvérsia na ciência, como é em outros lugares. Mas considerada uma descrição ou análise do processo científico, a teoria de Kuhn sofre de um defeito fatal. Ela explica a sucessão de um paradigma para outro em teremos sociológicos ou psicológicos, em vez de relacionada primariamente ao mérito objetivo das explicações rivais. Contudo, a menos que se entenda a ciência como uma busca por explicações, o fato de ela realmente encontrar explicações sucessivas, cada uma objetivamente melhor do que a última, é inexplicável.

Assim, Kuhn é obrigado a negar que têm ocorrido melhoras objetivas em explicações científicas sucessivas ou que essas melhoras são possíveis, mesmo em princípio:

há [um passo] que muitos filósofos da ciência desejam dar e que eu recuso. Eles desejam, isto sim, comparar teorias como representações da natureza, como declarações sobre “o que está realmente lá fora”. Assumindo que nenhuma das teorias de um par histórico é verdadeira, eles não obstante buscam um sentido no qual a última é uma melhor aproximação da verdade. Eu acredito que nada desse tipo pode ser encontrado (em Lakatos e Musgrave (eds.), Criticism and the Growth of Knowledge, p. 265).

Portanto, o crescimento do conhecimento científico objetivo não pode ser explicado no quadro de Kuhn. Não é bom tentar fingir que explicações sucessivas são melhores apenas em termos de seu próprio paradigma.

Existem diferenças objetivas. Nós podemos voar, ao passo que a maior parte das pessoas da história humana só podia sonhar com isso. Os antigos não teriam sido cegos à eficácia das nossas máquinas voadoras só porque, dentro do seu paradigma, eles não poderiam entender como elas funcionavam. A razão de podermos voar é que entendermos "o que está realmente lá fora" bem o suficiente para construir máquinas voadoras. O motivo pelo qual os antigos não podiam é que seu entendimento era objetivamente inferior ao nosso.

Se se enxertar a realidade do progresso científico objetivo na teoria de Kuhn, isso implicaria toda a carga da inovação fundamental ser carregada por um punhado de gênios iconoclastas. O restante da comunidade científica tem sua utilidade, mas em matérias significativas eles apenas embaraçam o crescimento do conhecimento. Esta visão romântica (que muitas vezes é avançada, independentemente das ideias kuhnianas) também não corresponde à realidade. Realmente têm existido gênios que, trabalhando sozinhos, revolucionaram ciências inteiras; vários deles foram mencionados neste livro — Galileu, Newton, Faraday, Darwin, Einstein, Gödel, Turing. Mas, no total, essas pessoas conseguiram trabalhar, publicar e ganhar reconhecimento apesar da inevitável oposição de velhos conservadores e oportunistas. (Galileu foi derrubando, mas não por cientistas rivais.) E, embora a maioria deles tenha encontrado oposição irracional, nenhuma das suas carreiras seguiu o estereótipo iconoclasta contra establishment científico. A maioria deles obteve benefícios e apoio das suas interações com cientistas do paradigma anterior.

Às vezes eu me encontro no lado da minoria das controvérsias científicas fundamentais. Mas nunca encontrei nada parecido com uma situação kuhniana. E claro que, como eu disse, a maior parte da comunidade científica nem sempre está tão aberta à crítica quanto deveria estar. Não obstante, a extensão em que ela se dedica à "prática científica apropriada" na condução de pesquisas científicas é notável. Você só precisa comparecer a um seminário de pesquisa em qualquer campo fundamental das ciências "duras" para ver como é grande a diferença entre o comportamento das pessoas como pesquisadoras e o comportamento humano em geral. Aqui vemos um professor erudito, reconhecido como o principal especialista no campo, dando um seminário. A sala está cheia de pessoas de todos os níveis da hierarquia da pesquisa acadêmica, desde estudantes de pós-graduação que foram apresentados ao campo há poucas semanas, até outros professores cujo

prestígio rivaliza com o do orador. A hierarquia acadêmica é uma estrutura de poder intrincada na qual carreira, influência e reputação das pessoas estão continuamente em jogo, tanto quanto em qualquer gabinete ou sala de reuniões — ou até mais. No entanto, desde que o seminário esteja em andamento, pode ser muito difícil para um observador distinguir a categoria dos participantes. O mais novato dos estudantes de pós-graduação faz uma pergunta: “A sua terceira equação realmente segue-se à segunda? Certamente esse termo que o senhor omitiu não é desprezível”. O professor tem certeza de que o termo é desprezível e de que o estudante está cometendo um erro de julgamento que alguém mais experiente não cometeria. Então, o que acontece em seguida?

Em uma situação análoga, um poderoso executivo-chefe cuja decisão de negócio fosse contraditada por um impetuoso recém-contratado poderia dizer: “Veja, eu já tomei esse tipo de decisão mais vezes do que você saboreou uma refeição quente. Se eu lhe disser que ela funciona, então funciona”. Um político sênior poderia dizer em resposta à crítica de um obscuro mas ambicioso colaborador do partido: “De que lado você está, afinal?” Mesmo o nosso professor, fora do contexto de pesquisas (digamos, fazendo uma palestra para estudantes de graduação), poderia bem responder, sem consideração mais séria: “É melhor você aprender a andar antes de querer correr. Leia o livro-texto e, entrementes, não perca o seu tempo nem o nosso”. Mas no seminário de pesquisas qualquer resposta dessa natureza à crítica causaria uma onda de constrangimento através da sala. As pessoas desviariam os olhos e fingiriam consultar suas anotações diligentemente. Haveria sorrisos maliciosos e olhares enviesados. Todos ficariam chocados pela impropriedade dessa atitude. Nesta situação, os apelos à autoridade (pelo menos os manifestos) simplesmente não são aceitáveis, mesmo quando a pessoa na posição mais sênior no campo todo está se dirigindo à mais júnior.

Portanto, o professor leva a sério a observação do estudante e responde com um argumento conciso mas adequado em defesa da equação em disputa. Ele tenta não mostrar sinais de irritação com a crítica de uma origem tão inferior. A maioria das perguntas da audiência tem a forma de críticas que, se fossem válidas, diminuiriam ou destruiriam o valor do trabalho da vida do professor. Mas trazer críticas vigorosas e diversas sobre verdades aceitas é um dos objetivos do seminário. Todos assumem como certo que a verdade não é óbvia e que o que é óbvio não precisa ser verdadeiro; que ideias devem ser aceitas ou rejeitadas de acordo com o seu conteúdo e não com a sua

origem; que as maiores mentes podem facilmente cometer erros; e que as objeções aparentemente mais triviais podem ser a chave para uma nova e grande descoberta.

Portanto, os participantes do seminário, enquanto estão empenhados em ciência, comportam-se em grande parte com racionalidade científica. Mas agora o seminário termina. Vamos seguir o grupo até a sala de jantar. Imediatamente o comportamento social humano normal se reafirma. O professor é tratado com deferência e senta-se à mesa com os de igual posição. Alguns poucos escolhidos das fileiras inferiores recebem o privilégio de poder sentar ali também. A conversa muda para o clima, mexericos ou (principalmente) política acadêmica. Enquanto esses assuntos estão sendo discutidos, todo o dogmatismo e preconceito, orgulho e lealdade, as ameaças e bajulações das interações humanas típicas em circunstâncias semelhantes reaparecem. Mas se a conversa reverte para o assunto do seminário, os cientistas instantaneamente tornam-se cientistas outra vez. Explicações são buscadas, evidências e argumentos predominam e a posição hierárquica se torna irrelevante para o curso da discussão. Essa é, de qualquer forma, a minha experiência nos campos em que tenho trabalhado.

Embora a história da teoria quântica ofereça muitos exemplos de cientistas apegando-se irracionalmente ao que poderia ser chamado de “paradigmas”, seria difícil encontrar um contraexemplo mais espetacular para a teoria de Kuhn da sucessão de paradigmas. A descoberta da teoria quântica foi sem dúvida uma revolução conceitual, talvez a maior desde Galileu, e houve realmente alguns “velhos conservadores” que nunca a aceitaram. Mas as maiores figuras da física, incluindo quase todos os que podiam ser considerados parte do establishment da física, revelaram-se imediatamente prontos para abandonar o paradigma clássico. Rapidamente tornou-se de conhecimento geral que a nova teoria exigia um afastamento radical da concepção clássica da estrutura da realidade. O único debate foi sobre o que o novo conceito deveria ser. Depois de algum tempo, uma nova ortodoxia foi estabelecida pelo físico Niels Bohr e sua “escola de Copenhague”. Essa nova ortodoxia nunca foi amplamente aceita como uma descrição da realidade para que fosse chamada de paradigma, embora abertamente tenha sido endossada pela maioria dos físicos (Einstein foi uma exceção notável). Notadamente, ela não se centrava na proposição de que a nova teoria quântica era verdadeira. Ao contrário, ela dependia crucialmente de a teoria quântica, pelo menos em sua forma atual, ser falsa! De acordo com a “interpretação de Copenhague”,

as equações da teoria quântica aplicam-se apenas a aspectos não observados da realidade física. Nos momentos de observação, um tipo diferente de processo assume, envolvendo uma interação direta entre a consciência humana e a física subatômica. Determinado estado de consciência torna-se real, o resto eram apenas possibilidades. A interpretação de Copenhague especificava esse alegado processo apenas em resumo; uma descrição mais completa era considerada uma tarefa para o futuro ou, talvez, para permanecer eternamente além da compreensão humana. Quanto aos eventos não observados que interpolavam entre observações conscientes, “não era permitido perguntar” sobre eles! Como os físicos, mesmo durante o que foi o apogeu do positivismo e instrumentalismo, podiam aceitar uma construção tão insubstancial como a versão ortodoxa de uma teoria fundamental é uma questão para os historiadores. Não precisamos nos preocupar com os detalhes arcanos da interpretação de Copenhague, porque sua motivação era essencialmente evitar a conclusão de que a realidade tem múltiplos valores e somente por esse motivo é incompatível com qualquer explicação autêntica dos fenômenos quânticos.

Cerca de 20 anos mais tarde, Hugh Everett, na ocasião um estudante de pósgraduação em Princeton trabalhando sob a direção do eminente físico John Archibald Wheeler, apresentou pela primeira vez as implicações de muitos universos da teoria quântica. Wheeler não as aceitou. Ele estava (e ainda está) convencido de que a visão de Bohr, embora incompleta, era a base da explicação correta. Mas, diante do fato, ele se comportou como o estereótipo kuhniano nos levaria a esperar? Ele tentou suprimir as ideias heréticas do seu aluno? Ao contrário. Wheeler temia que as ideias de Everett pudessem não ser suficientemente apreciadas. Portanto, ele mesmo escreveu um pequeno artigo para acompanhar o que Everett publicou, e os dois apareceram em páginas consecutivas do periódico Reviews of Modem Physics. O artigo de Wheeler explicava e defendia o de Everett tão efetivamente que muitos leitores presumiram que eles eram juntamente responsáveis pelo conteúdo. Consequentemente, a teoria de multiverso foi erroneamente conhecida como “teoria de Everett-Wheeler” durante muitos anos depois disso, para o pesar de Wheeler.

O apego exemplar de Wheeler à racionalidade científica pode ser extremo, mas não é único. A esse respeito, devo mencionar Bryce DeWitt, outro físico eminente que inicialmente se opôs a Everett. Em uma histórica troca de cartas, DeWitt apresenta uma série de objeções técnicas detalhadas à

teoria de Everett, cada uma delas refutada por Everett. DeWitt terminou seu argumento em uma nota informal, enfatizando que ele não poderia se sentir "dividido" em múltiplas cópias distintas toda vez que uma decisão fosse tomada. A resposta de Everett ecoou a disputa entre Galileu e a Inquisição. "Você sente a Terra se movendo?", ele perguntou — a questão é que a teoria quântica explica por que não sentimos essas divisões, da mesma forma que a teoria de Galileu da inércia explica por que não sentimos a Terra se movendo. DeWitt reconheceu como válido.

Não obstante, a descoberta de Everett não teve ampla aceitação. Infelizmente, na geração entre a interpretação de Copenhague e Everett, a maioria dos físicos haviam desistido da ideia da explicação na teoria quântica. Como eu disse, foi o apogeu do positivismo na filosofia da ciência. A rejeição (ou incompreensão) da interpretação de Copenhague, junto com o que poderia ser chamado de instrumentalismo pragmático, tornou-se (e permanece sendo) a típica atitude do físico para com a mais profundamente conhecida teoria da realidade. Se o instrumentalismo é a doutrina de que explicações não têm sentido porque uma teoria é apenas um "instrumento" para fazer previsões, o instrumentalismo pragmático é a prática de usar teorias científicas sem saber ou sem se importar com o que elas significam. A esse respeito, o pessimismo kuhniano sobre a racionalidade científica foi corroborado. Mas a história kuhniana sobre como novos paradigmas substituem os antigos não foi corroborada. Em certo sentido, o próprio instrumentalismo pragmático tornou-se um "paradigma" que os físicos adotaram para substituir a ideia clássica de uma realidade objetiva. Mas esse não é o tipo de paradigma com o qual se entende o mundo! De qualquer forma, seja o que for que os físicos estiveram fazendo, eles não estavam vendo o mundo através do paradigma da física clássica — o epítome, entre outras coisas, do realismo e do determinismo objetivo. A maioria deles o descartou tão logo a teoria quântica foi proposta, mesmo tendo mantido domínio sobre o todo da ciência, sem ser desafiado desde que Galileu ganhou a discussão intelectual contra a Inquisição um terço de milênio antes.

O instrumentalismo pragmático só tem sido exequível porque, na maioria dos ramos da física, a teoria quântica não é aplicada na sua capacidade explicativa. Ela é usada apenas indiretamente, no teste de outras teorias e somente as suas previsões são necessárias. Assim, gerações de físicos têm achado suficiente considerar os processos de interferência, como os que ocorrem durante um milésimo trilionésimo de segundo, quando duas

partículas elementares colidem, como uma “caixa-preta”: eles preparam uma entrada e observam uma saída. Eles usam as equações da teoria quântica para prever uma a partir da outra, mas não sabem nem se importam de que forma a saída acontece como resultado da entrada. Entretanto, existem dois ramos da física em que essa atitude é impossível, porque os mecanismos internos do objeto da mecânica quântica constituem toda a matéria de estudo desse ramo. Esses ramos são a teoria quântica da computação e a cosmologia quântica (a teoria quântica da realidade física como um todo). Afinal, seria uma “teoria da computação” muito pobre se nunca tratasse dos problemas de como a saída é obtida da entrada! E quanto à cosmologia quântica, não podemos preparar uma entrada no começo do multiverso nem medir uma saída no fim. Seus mecanismos internos são tudo o que existe. Por esse motivo, a teoria quântica é usada em sua forma total de multiverso pela esmagadora maioria de pesquisadores nesses dois campos.

Portanto, a história de Everett é realmente a de um jovem pesquisador inovador desafiando um consenso dominante e sendo amplamente ignorado até que, décadas mais tarde, sua visão gradualmente torna-se o novo consenso. Mas a base da inovação de Everett não era uma afirmação de que a teoria predominante era falsa, mas de que era verdadeira! Os responsáveis, longe de serem capazes de pensar apenas em termos de sua própria teoria, recusavam-se a pensar em seus termos e a estavam usando apenas instrumentalmente. No entanto, eles descartaram o paradigma explicativo anterior, a física clássica, com poucas reclamações tão logo uma teoria melhor se tornou disponível.

Alguma coisa do mesmo estranho fenômeno também ocorreu nas outras três teorias que fornecem os elementos principais da explicação da estrutura da realidade: as teorias da computação, da evolução e do conhecimento. Em todos os casos a teoria que agora prevalece, embora tenha definitivamente substituído sua predecessora e outras rivais na medida em que está sendo aplicada rotineiramente de maneira pragmática, não obstante falhou em se tornar o novo “paradigma”. Isto é, ela não foi aceita como uma explicação fundamental da realidade pelos que trabalham no campo.

O princípio de Turing, por exemplo, dificilmente foi seriamente posto em dúvida como uma verdade pragmática, pelo menos em suas formas fracas (por exemplo, que um computador universal poderia reproduzir qualquer ambiente fisicamente possível). As críticas de Roger Penrose são uma rara exceção, pois ele entende que contradizer o princípio de Turing envolve

contemplar teorias radicalmente novas tanto na física quanto na epistemologia e também algumas novas suposições interessantes sobre biologia. Nem Penrose nem algum outro propôs realmente qualquer rival viável para o princípio de Turing, portanto ele permanece como a teoria fundamental predominante da computação. Embora a proposição de que a inteligência artificial seja possível em princípio, o que se segue por lógica simples dessa teoria predominante de modo algum é tomado como certo. (Inteligência artificial é um programa de computador que possui propriedades da mente humana, incluindo inteligência, consciência, livre-arbítrio e emoções, mas é executado em hardware que não é o cérebro humano.) A possibilidade da inteligência artificial é contestada duramente por filósofos eminentes (incluindo Popper), cientistas e matemáticos e por pelo menos um proeminente cientista da computação. Mas poucos desses oponentes parecem entender que estão contradizendo o reconhecido princípio fundamental de uma disciplina fundamental. Eles não veem fundamentos alternativos para a disciplina, como vê Penrose. É como se eles estivessem negando a possibilidade de podermos viajar até Marte, sem perceber que nossas melhores teorias de engenharia e física dizem que podemos. Assim, eles violam um princípio básico de racionalidade — que boas explicações não devem ser rapidamente descartadas.

Mas não são somente os oponentes da inteligência artificial que falharam ao incorporar o princípio de Turing em seu paradigma. Pouquíssimos outros fizeram isso também. O fato de terem passado quatro décadas desde que o princípio foi proposto antes de qualquer um investigar suas implicações para a física e mais uma década antes de a computação quântica ser descoberta testemunha isso. As pessoas estavam aceitando e usando o princípio pragmaticamente dentro da ciência da computação, mas ele não tinha sido integrado à sua visão de mundo geral.

A epistemologia de Popper, em todos os sentidos pragmáticos, tornou-se a teoria predominante da natureza e crescimento do conhecimento científico. Quando se trata de aceitar as regras dos experimentos em qualquer campo como “evidência científica” por teóricos daquele campo ou por respeitáveis periódicos para publicação, ou por médicos para escolher entre tratamentos rivais, os preceitos modernos são os que Popper teria aceito: testes experimentais, exposição à crítica, explicação teórica e reconhecimento da falibilidade em procedimentos experimentais. Em relatos populares de ciência, as teorias científicas tendem a ser apresentadas mais como arrojadas

conjeturas do que como inferências retiradas de dados acumulados, e a diferença entre ciência e (digamos) astrologia é explicada corretamente em termos de testabilidade em vez de grau de confirmação. Em laboratórios escolares, a ordem do dia é “formação de hipótese e testes”. Não se espera mais que os alunos “aprendam com o experimento”, no sentido em que eu e meus contemporâneos aprendíamos — isto é, nós recebíamos algum equipamento e nos diziam o que fazer com ele, mas não nos diziam a teoria com a qual os resultados deveriam se conformar. Esperava-se que nós a induzíssemos.

Embora seja a teoria predominante naquele sentido, a epistemologia popperiana é parte da visão de mundo de muito poucas pessoas. A popularidade da teoria de Kuhn da sucessão de paradigmas é uma ilustração disto. Mais seriamente, muito poucos filósofos concordam com a afirmação de Popper de que não existe mais um “problema da indução” porque nós na verdade não obtemos ou justificamos teorias a partir de observações, mas prosseguimos com conjeturas explicativas e refutações. Não é que muitos filósofos sejam indutivistas, ou discordem muito da descrição e prescrição de Popper do método científico, ou acreditem que as teorias científicas são realmente inseguras por causa de seu “status” de conjetura. E que eles não aceitam a explicação de Popper de como tudo funciona. Mais uma vez, há aqui um eco da história de Everett. A visão da maioria é que existe um problema filosófico fundamental com a metodologia popperiana, embora a ciência (todas as vezes que logrou sucesso) sempre a tenha seguido. A inovação herética de Popper assume a forma de uma reivindicação de que a metodologia tem sido sempre válida.

A teoria de Darwin da evolução também é a teoria predominante em seu campo, no sentido de que ninguém duvida seriamente de que a evolução por meio da seleção natural, agindo sobre populações com variações aleatórias, é a “origem das espécies” e da adaptação biológica em geral. Nenhum biólogo ou filósofo sério atribui a origem das espécies à criação divina ou à evolução lamarckiana. (O lamarckismo, uma teoria evolucionista que o darwinismo suplantou, era análoga ao indutivismo. Atribuía adaptações biológicas à herança de características que o organismo havia lutado por obter e adquirido durante a vida.) No entanto, da mesma forma que com os outros três elementos, as objeções ao darwinismo puro como uma explicação dos fenômenos da biosfera são numerosas e difundidas. Uma classe de objeção centraliza-se na questão de ter havido ou não na história da biosfera tempo

suficiente para essa colossal complexidade evoluir somente por seleção natural. Nenhuma teoria rival viável foi apresentada para substanciar essas objeções, exceto talvez a ideia, da qual os astrônomos Fred Hoyle e Chandra Wickramasinghe são proponentes recentes, de que as moléculas complexas nas quais a vida é baseada originaram-se no espaço exterior. Mas o objetivo dessas objeções não é tanto contradizer o modelo darwiniano quanto afirmar que alguma coisa fundamental permanece inexplicada na questão de como ocorreram as adaptações que observamos na biosfera.

O darwinismo também tem sido criticado como sendo circular porque invoca "a sobrevivência dos mais adaptados" como explicação, ao passo que "mais adaptados" são definidos retrospectivamente por terem sobrevivido. De modo alternativo, em termos de uma definição independente de "adaptação", a ideia de que a evolução "favorece os mais adaptados" parece ser contestada pelos fatos. Por exemplo, a definição mais intuitiva de adaptação biológica seria "adaptação de uma espécie para sobreviver em determinado nicho", no sentido de que um tigre poderia ser considerado a máquina ótima para ocupar o nicho ecológico que os tigres ocupam. Os contraexemplos padrão para esse tipo de "sobrevivência dos mais adaptados" são adaptações, como a cauda do pavão, que parecem tornar o organismo muito menos adaptado a explorar o seu nicho. Tais objeções parecem enfraquecer a capacidade da teoria de Darwin para satisfazer seu propósito original, que era explicar como o aparente "projeto" (isto é, adaptações) dos organismos vivos poderia ter acontecido por meio de operações de leis "cegas" da física sobre matéria inanimada, sem a intervenção de um planejador intencional.

A inovação de Richard Dawkins, como apresentada em seus livros The Selfish Gene (O Gene Egoísta) e The Blind Watchmaker (O Relojoeiro Cego), ainda é mais uma vez a asserção de que a teoria predominante é verdadeira afinal. Ele argumenta que nenhuma das objeções atuais ao modelo darwiniano simples, sob inspeção cuidadosa, demonstra ter substância. Em outras palavras, Dawkins alega que a teoria de Darwin da evolução fornece uma explicação completa da origem das adaptações biológicas. Dawkins elaborou a teoria de Darwin na sua forma moderna como a teoria dos replicadores. O replicador que é melhor em conseguir sua própria replicação em dado ambiente finalmente suplantará todas as variações dele mesmo porque, por definição, elas são piores em replicar a si mesmas. Não é a variação de espécie mais adaptada que sobrevive (Darwin não percebeu isso), mas a variação de gene mais adaptada. Uma consequência disso é que às

vezes um gene pode suplantar genes variantes (como genes para caudas menos embaraçosas nos pavões) por meios (como seleção sexual) que não promovem especialmente o bem da espécie ou do indivíduo. Mas toda evolução promove o "bem" (isto é, a replicação) dos melhores genes replicadores — daí o termo "gene egoísta". Dawkins satisfaz cada uma das objeções em detalhes e mostra que a teoria de Darwin, quando corretamente interpretada, não tem nenhuma das alegadas falhas e realmente explica a origem das adaptações.

Foi especificamente a versão de Dawkins do darwinismo que se tornou a teoria predominante da evolução no sentido pragmático. No entanto, ela ainda não é de modo algum o paradigma predominante. Muitos biólogos e filósofos ainda são perseguidos pela sensação de que existe alguma lacuna fundamental na explicação. Por exemplo, no mesmo sentido em que a teoria de Kuhn das "revoluções científicas" desafia o quadro popperiano da ciência, existe uma teoria evolutiva correspondente que desafia o quadro de Dawkins da evolução. Ela é a teoria do equilíbrio pontuado, que diz que a evolução acontece em pequenas eclosões, com longos períodos de mudanças não selecionadas entre elas. Essa teoria pode até ser factualmente verdadeira. Ela realmente não contradiz a teoria do "gene egoísta", não mais do que a epistemologia popperiana é contestada pela proposição de que as revoluções conceituais não acontecem todos os dias, ou que os cientistas muitas vezes resistem à inovação fundamental. Mas do mesmo modo que com a teoria de Kuhn, a maneira em que o equilíbrio pontuado e outras variantes de cenários evolutivos foram apresentados como solução para alguns problemas alegadamente negligenciados na teoria evolucionária predominante revela a extensão em que o poder explicativo da teoria de Dawkins ainda precisa ser assimilado.

Tem havido uma consequência muito infeliz, para todos os quatro elementos, de a teoria predominante geralmente ser rejeitada como explicação, sem que explicações rivais sérias estejam em vigor. É que os proponentes das teorias predominantes — Popper, Turing, Everett, Dawkins e seus apoiadores — encontraram-se constantemente na defensiva contra teorias obsoletas. O debate entre Popper e a maioria dos seus críticos foi (como eu disse nos Capítulos 3 e 7) efetivamente sobre o problema da indução. Turing gastou os últimos anos da sua vida defendendo a proposição de que os cérebros humanos não funcionam por meios sobrenaturais. Everett deixou a pesquisa científica depois de não fazer nenhum progresso e, durante

vários anos, a teoria do multiverso foi defendida quase exclusivamente por Bryce DeWitt, até que o progresso na cosmologia quântica nos anos 70 forçou sua aceitação pragmática neste campo. Mas os oponentes da teoria do multiverso como explicação raras vezes desenvolveram explicações rivais. (A teoria de David Bohm, que mencionei no Capítulo 4, é uma exceção.) Em vez disso, como certa vez observou o cosmólogo Dennis Sciama, "Quando se trata de interpretação da mecânica quântica, o padrão de argumentação subitamente cai a zero". Os proponentes da teoria do multiverso tipicamente encaram um apelo ansioso e desafiador, mas incoerente, para a interpretação de Copenhague — na qual, entretanto, dificilmente alguém ainda acredita. E, finalmente, Dawkins de alguma fôrma tornou-se o defensor público da racionalidade científica contra, entre todas as coisas, o criacionismo e, mais geralmente, contra uma visão de mundo pré-científica que está obsoleta desde Galileu. O mais frustrante de tudo isso é que, desde que os proponentes das nossas melhores teorias da estrutura da realidade têm de gastar sua energia intelectual em refutações e mais refutações fúteis de teorias há muito sabidas que são falsas, o estado do nosso mais profundo conhecimento não pode melhorar.

Turing ou Everett poderiam ter descoberto facilmente a teoria quântica da computação. Popper poderia ter elaborado a teoria da explicação científica. (Para ser justo, devo reconhecer que ele entendeu e elaborou algumas conexões entre sua epistemologia e a teoria da evolução.) Dawkins poderia, por exemplo, ter avançado sua própria teoria da evolução de ideias replicantes (memes).

A teoria unificada da estrutura da realidade que é o assunto deste livro é, no nível mais direto, meramente a combinação das quatro teorias fundamentais predominantes de seus respectivos campos. Nesse sentido, também é a "teoria predominante" destes quatro campos tomados como um todo. Mesmo algumas das conexões entre os quatro elementos são amplamente reconhecidas. Minha tese, portanto, também toma a forma "a teoria predominante é verdadeira afinal!" Não somente defendo levar a sério cada uma das teorias fundamentais como explicação de sua própria matéria de estudo, mas argumento que, tomadas juntas, elas oferecem um novo nível de explicação de uma estrutura da realidade unificada.

Também argumentei que nenhum dos quatro elementos pode ser apropriadamente entendido independentemente dos outros três. Isto é possivelmente uma pista para a razão de todas essas teorias predominantes

não terem sido acreditadas. As quatro explicações individuais compartilham uma propriedade sem atrativos que foi criticada de várias formas, como “idealizadas e irreais”, “estreitas” ou “ingênuas” — e também “frias”, “mecânicas” e “sem humanidade”. Acredito que existe alguma verdade no sentimento por trás dessas críticas. Por exemplo, daqueles que negam a possibilidade da inteligência artificial e estão na verdade negando que o cérebro é um objeto físico, alguns estão realmente apenas tentando exprimir uma crítica muito mais razoável: que a explicação de Turing da computação parece não deixar espaço, mesmo em princípio, para nenhuma explicação futura em termos físicos dos atributos mentais como consciência e livre-arbítrio. Então não é suficientemente bom para os entusiasmas da inteligência artificial responder bruscamente que o princípio de Turing garante que um computador pode fazer qualquer coisa que o cérebro pode. Naturalmente isso é verdade, mas é uma resposta em termos de previsão, e o problema é de explicação. Há uma lacuna explicativa.

Não creio que essa lacuna possa ser preenchida sem que se traga à luz os outros três elementos. Como eu disse, minha suposição é de que o cérebro é um computador clássico e não um computador quântico, portanto não espero que a explicação da consciência seja que ela é qualquer tipo de fenômeno computacional quântico. Não obstante, espero que a unificação da computação com a física quântica e, provavelmente, a unificação mais ampla dos quatro elementos, seja essencial aos avanços filosóficos fundamentais, a partir dos quais um entendimento da consciência fluirá um dia. Para que o leitor não ache isso paradoxal, deixe-me fazer uma analogia com um problema semelhante de uma era anterior: “O que é a vida?”. Este problema foi solucionado por Darwin. A essência da solução foi a ideia de que o intrincado e aparentemente intencional projeto que é aparente em organismos vivos não está construído dentro da realidade ab initio, mas é consequência emergente da operação das leis da física. Essas leis não ordenaram especificamente a forma dos elefantes e pavões, não mais do que o Criador o fez. Elas não se referem a resultados, especialmente os emergentes; apenas determinam as regras sob as quais os átomos e coisas semelhantes interagem. Esse conceito de uma lei da natureza como um conjunto de leis de movimento é relativamente recente. Acho que ele pode ser creditado especificamente a Galileu e, até certo ponto, a Newton. O conceito anterior de uma lei da natureza havia sido aquele de uma regra que estabelece o que acontece. Um exemplo são as leis do movimento planetário de Johannes

Kepler, que descreviam como os planetas se movem em órbitas elípticas. Isso deve ser contrastado com as leis de Newton, que são leis da física no sentido moderno. Elas não mencionam elipses, embora possam reproduzir (e corrigir) as previsões de Kepler em condições apropriadas. Ninguém poderia ter explicado o que é a vida sob o conceito de Kepler de uma "lei da física", pois estaria procurando por uma lei que rege elefantes da mesma maneira que as leis de Kepler regem elipses. Mas Darwin foi capaz de imaginar como as leis da natureza que não mencionavam elefantes poderiam, não obstante, produzi-los, da mesma forma que as leis de Newton produzem elipses. Embora Darwin não fizesse uso de nenhuma lei específica de Newton, sua descoberta teria sido inconcebível sem a visão de mundo subjacente àquelas leis. É esse o sentido em que espero que a solução do problema "O que é a consciência?" dependa da teoria quântica. Ela não invocará nenhum processo específico da mecânica quântica, mas dependerá crucialmente da visão de mundo da mecânica quântica e especialmente da visão de multiuniverso.

Qual é a minha evidência? Já apresentei um pouco dela no Capítulo 8, onde discuti a visão de multiverso do conhecimento. Embora não saibamos o que é a consciência, ela está clara e intimamente relacionada com o crescimento e a representação do conhecimento no cérebro. Parece improvável, então, que seremos capazes de explicar o que é a consciência, como processo físico, antes de termos explicado o conhecimento em termos físicos. Essa explicação tem sido difícil de compreender na teoria clássica da computação. Mas, como eu disse, na teoria quântica há uma boa base para uma explicação: o conhecimento pode ser entendido como complexidade que se estende através de grande número de universos.

Outro atributo mental de alguma forma associado à consciência é o livre-arbítrio. Ele também é notoriamente difícil de entender na visão de mundo clássica. A dificuldade de harmonizar o livre-arbítrio com a física muitas vezes é atribuída ao determinismo, mas não é o determinismo que está errado. É (como expliquei no Capítulo 11) o espaço-tempo clássico. No espaço-tempo, alguma coisa acontece comigo em cada momento determinado do meu futuro. Mesmo que o que irá acontecer seja imprevisível, já está lá, na seção reta apropriada do espaço-tempo. Não faz sentido falar de mim "mudando" o que está naquela seção. O espaço-tempo não muda, portanto, dentro da física do espaço-tempo, não se pode conceber causas, efeitos, a abertura do futuro ou o livre-arbítrio.

Assim, substituir as leis deterministas do movimento por leis

indeterministas (aleatórias) não faria nada para solucionar o problema do livre-arbítrio, desde que as leis permanecessem clássicas. Liberdade não tem nada a ver com aleatoriedade. Valorizamos nosso livre-arbítrio como a capacidade de expressar, em nossas ações, quem somos nós como indivíduos. Quem valorizaria ser aleatório? O que pensamos serem nossas ações livres não são aquelas que são aleatórias ou indeterminadas, mas as que são largamente determinadas por quem nós somos, pelo que pensamos e pelo que está em questão. (Embora sejam amplamente determinadas, elas podem ser altamente imprevisíveis na prática por razões de complexidade.)

Considere esta declaração típica com referência ao livre-arbítrio: "Depois de pensar cuidadosamente, escolho fazer X; eu poderia ter escolhido de modo diferente; foi a decisão certa; sou bom em tomar essas decisões". Em qualquer visão de mundo clássica, essa declaração é pura linguagem ininteligível. No panorama de multiverso ela é uma representação física direta, mostrada na Tabela 13.1. (Não estou propondo definir valores morais ou estéticos em termos dessas representações; estou apenas indicando que, graças ao caráter de multiverso da realidade quântica, o livre-arbítrio e conceitos relacionados agora são compatíveis com a física.)

Assim, o conceito de Turing de computação parece menos desligado dos valores humanos e não é obstáculo para o entendimento dos atributos humanos como livre-arbítrio, desde que seja entendido em um contexto de multiverso. O mesmo exemplo isenta a própria teoria de Everett. Diante dele, o preço do entendimento dos fenômenos de interferência é criar ou exacerbar muitos problemas filosóficos. Mas aqui, e em muitos outros exemplos que dei neste livro, vemos que o caso é exatamente o oposto. A fecundidade da teoria do multiverso ao contribuir para a solução dos problemas filosóficos existentes há muito tempo é tão grande que valeria a pena adotá-la, mesmo se não houvesse evidência física para ela. Na verdade, o filósofo David Lewis, em seu livro On the Plurality of Worlds (Sobre a Pluralidade dos Mundos), postulou a existência de um multiverso apenas por razões filosóficas.

Depois de pensar cuidadosamente, eu escolho X	Depois de pensar cuidadosamente, algumas cópias de mim, incluindo a que está falando, escolhem fazer X
Eu poderia ter escolhido outra coisa	Outras cópias de mim escolhem outra coisa
Foi a decisão certa	Representações de valores morais ou estéticos que são refletidos na minha escolha da opção X são repetidas muito mais amplamente no multiverso do que as representações de valores rivais
Eu sou bom em tomar essas decisões	As cópias de mim que escolhem X, e as que escolhem corretamente em outras situações como esta, excedem muito em número as que não escolheram

Tabela 13.1 *Representações físicas de algumas declarações referentes ao livre-arbítrio.*

Voltando à teoria da evolução, posso de modo semelhante atribuir algum sentindo àqueles que criticam a evolução darwiniana com base em que parece "improvável" que essas adaptações complexas pudessem ter evoluído no tempo dado. Um dos críticos de Dawkins quer que fiquemos tão surpresos com a biosfera quanto ficaríamos se várias peças sobressalentes jogadas ao mesmo tempo por acaso caíssem juntas formando um Boeing 747. Diante disso, essa crítica força uma analogia entre bilhões de anos de tentativa e erro em todo o planeta, por um lado, e um acidente instantâneo de "por acaso caírem juntas" de outro. Isso seria obstinadamente não entender nada da explicação evolucionária. Não obstante, a posição precisamente oposta de Dawkins é completamente adequada como explicação? Dawkins quer que nós não fiquemos surpresos com o fato de adaptações complexas terem vindo a existir espontaneamente. Em outras palavras, ele afirma que sua teoria do "gene egoísta" é uma explicação completa — naturalmente, não para adaptações específicas, mas de como foi possível para tais adaptações complexas virem a existir.

Mas essa não é uma explicação completa. Existe uma lacuna explicativa e desta vez já sabemos muito mais sobre como os outros elementos poderiam preenchê-la. Vimos que o próprio fato de as variáveis físicas poderem armazenar informações, de poderem interagir mutuamente para transferi-las e replicá-las, e de tais processos serem estáveis, depende dos detalhes da teoria quântica. Além disso, vimos que a existência de replicadores altamente adaptados depende da exequibilidade física da geração e da universalidade da realidade virtual, a qual, por sua vez, pode ser entendida como consequência de um princípio profundo, o princípio de Turing, que liga a física e a teoria da computação e não faz nenhuma referência explícita a replicadores, evolução ou biologia.

Uma lacuna análoga existe na epistemologia popperiana. Seus críticos se perguntam por que o método científico funciona, ou o que justifica nossa confiança nas melhores teorias científicas. Isso os leva a ansiar por um princípio de indução ou alguma coisa do gênero (embora, como criptoindutivistas, eles normalmente percebam que tal princípio também não explicaria nem justificaria qualquer coisa). Para os popperianos, responder que não existe justificação ou que nunca é racional confiar em teorias é fornecer nenhuma explicação. Popper até disse que "nenhuma teoria do conhecimento deveria tentar explicar por que temos sucesso nas nossas tentativas de explicar as coisas" (Objective Knowledge, p. 23). Mas, uma vez que entendamos que o crescimento do conhecimento humano é um processo físico, veremos que não pode ser ilegítimo tentar explicar como e por que ele ocorre. A epistemologia é uma teoria de física (emergente). E uma teoria factual sobre as circunstâncias nas quais certa quantidade física (conhecimento) irá ou não crescer. As meras asserções dessa teoria são amplamente aceitas. Mas não podemos encontrar uma explicação de por que elas são verdadeiras somente dentro da teoria do conhecimento per se. Nesse sentido estreito, Popper estava certo. A explicação deve envolver a física quântica, o princípio de Turing e, como o próprio Popper enfatizou, a teoria da evolução.

Os proponentes da teoria predominante, em cada um dos quatro casos, são colocados permanentemente na defensiva por seus críticos repisando essas lacunas explicativas. Isso muitas vezes os obriga a se retirar para o núcleo do seu próprio elemento. "Aqui eu fico, não posso fazer outra coisa" é sua resposta definitiva, na medida em que se baseiam na irracionalidade autoevidente de abandonar a teoria fundamental sem rival de seu próprio campo. Isso apenas os faz parecer ainda mais estreitos para os críticos e tende a engendrar pessimismo sobre a própria perspectiva de outras explicações fundamentais.

Apesar de todas as desculpas que tenho criado para os críticos das teorias centrais, a história dos quatro elementos mostra que alguma coisa muito desagradável aconteceu com a ciência e a filosofia fundamentais na maior parte do século XX. A popularidade do positivismo e de uma visão instrumentalista da ciência foram ligadas a apatia, perda de autoconfiança e pessimismo sobre explicações genuínas em uma ocasião em que o prestígio, a utilidade e, de fato, o financiamento para pesquisas fundamentais estavam altos o tempo todo. É claro que houve muitas exceções individuais, inclusive

os quatro heróis deste capítulo. Mas a maneira sem precedentes pela qual suas teorias foram simultaneamente adotadas e ignoradas fala por si mesma. Não estou afirmando ter uma explicação completa para esse fenômeno, mas, o que quer que o tenha causado, parece que estamos saindo dele agora.

Apresentei uma possível causa contribuidora, ou seja, que individualmente todas as quatro teorias têm lacunas explicativas que fazem com que elas pareçam estreitas, desumanas e pessimistas. Mas sugiro que, quando elas forem tomadas juntas, como uma explicação unificada da estrutura da realidade, essa propriedade infeliz seja revertida. Longe de negar o livre-arbítrio, longe de colocar os valores humanos em um contexto em que são triviais e insignificantes, longe de ser pessimista, é uma visão de mundo fundamentalmente otimista que coloca as mentes humanas no centro do universo físico, uma explicação e entendimento no centro dos propósitos humanos. Espero que não tenhamos de gastar muito tempo olhando para trás a fim de defender essa visão unificada contra competidores inexistentes. Não haverá falta de competidores quando, tendo levado a sério a teoria unificada da estrutura da realidade, começaremos a desenvolvê-la ainda mais. É hora de prosseguir.

Terminologia Empregada no Capítulo

Paradigma — O conjunto de ideias por meio das quais aqueles que o defendem observam e explicam tudo em sua experiência. De acordo com Thomas Kuhn, defender um paradigma causa cegueira para os méritos de outro paradigma e evita que se troquem paradigmas. Não é possível compreender dois paradigmas ao mesmo tempo.

Interpretação de Copenhague da mecânica quântica — Uma ideia para tornar mais fácil escapar das implicações da teoria quântica para a natureza da realidade. Em momentos de observação, o resultado em um dos universos supostamente torna-se real, e todos os outros universos — mesmo os que contribuíram para esse resultado — são considerados como nunca tendo existido. Sob essa visão, não é permitido perguntar o que acontece na realidade entre observações conscientes.

Resumo

As histórias intelectuais das teorias fundamentais dos quatro elementos contêm notáveis paralelos. Todos os quatro têm sido simultaneamente aceitos (para utilização na prática) e ignorados (como explicações da realidade). Um motivo para isso é que, quando tomada individualmente, cada uma das quatro teorias tem lacunas explicativas e parece fria e pessimista. Basear uma visão

de mundo em qualquer uma delas individualmente é, em um sentido generalizado, reducionista. Mas quando elas são tomadas em conjunto, como uma explicação unificada da estrutura da realidade, as coisas não são mais assim.

O que vem a seguir?

14 Os Fins do Universo

Embora a história não tenha sentido, nós podemos lhe dar um sentido. Karl Popper (The Open Society and Its Enemies, vol. 2, p. 278)

Durante as minhas pesquisas sobre as bases da teoria quântica, quando pela primeira vez me tornei cônscio das ligações entre a física quântica, a computação e a epistemologia, considerei essas ligações como evidência da tendência histórica da física para absorver matérias que anteriormente pareciam não estar relacionadas com ela. A astronomia, por exemplo, foi ligada à física terrestre pelas leis de Newton, e durante os séculos seguintes muito dela foi absorvido e tornou-se a astrofísica. A química começou a ser incluída na física pelas descobertas de Faraday na eletroquímica, e a teoria quântica fez notável parte da química básica diretamente previsível somente a partir das leis da física. A teoria da relatividade geral de Einstein absorveu a geometria e resgatou tanto a cosmologia quanto a teoria do tempo de seu antigo "status" puramente filosófico, tornando-as ramos totalmente integrados da física. Recentemente, como já discuti, a teoria da viagem no tempo foi integrada também.

Assim, a perspectiva de a física quântica absorver não somente a teoria da computação, mas também, entre todas as coisas, a teoria da prova (que tem o nome alternativo de "metamatemática") pareceu-me ser evidência de duas tendências. Primeira, que o conhecimento humano, como um todo, continuava a assumir a estrutura unificada que deveria ter se fosse compreensível no sentido forte que eu esperava. Segunda, que a própria estrutura unificada consistiria em uma teoria cada vez mais profunda e mais ampla da física fundamental.

O leitor deve saber que mudei de ideia sobre o segundo ponto. O caráter da estrutura da realidade que agora estou propondo não é somente aquele da física fundamental. Por exemplo, a teoria quântica da computação não foi construída por princípios da computação derivados somente da física quântica. Ela inclui o princípio de Turing, que já era, com o nome de conjetura de Church-Turing, a base da teoria da computação. Ele nunca havia sido usado na física, mas argumentei que é somente como um princípio da física que ele pode ser adequadamente entendido. Está em igualdade com o princípio da conservação da energia e as outras leis da termodinâmica: isto é, ele é uma restrição com a qual, até onde sabemos, todas as outras teorias se

conformam. Mas, ao contrário das leis da física existentes, tem um caráter emergente, referindo-se diretamente às propriedades das máquinas complexas e apenas de modo consequente a objetos e processos subatômicos. (Pode ser argumentado que a segunda lei da termodinâmica — o princípio da entropia crescente — também é assim).

De modo semelhante, se entendermos o conhecimento e a adaptação como estrutura que se estende através de grande número de universos, esperamos que os princípios da epistemologia e da evolução sejam exprimíveis diretamente como leis sobre a estrutura do multiverso. Isto é, são leis físicas, mas em um nível emergente. Reconhecidamente, a teoria da complexidade quântica ainda não alcançou o ponto de poder expressar, em termos físicos, a proposição de que o conhecimento pode crescer apenas em situações que se conformam com o padrão popperiano mostrado na Figura 3-3. Mas esse é apenas o tipo de proposição que espero que apareça na nascente Teoria de Tudo, a teoria unificada explicativa e que faz previsões de todos os quatro elementos.

Sendo assim, a visão de que a física quântica está absorvendo os outros elementos deve ser considerada meramente como estreita perspectiva de físico, talvez maculada pelo reducionismo. Na verdade, cada um dos outros três elementos é suficientemente rico para formar todo o alicerce da visão de mundo de algumas pessoas, da mesma forma que a física fundamental forma o alicerce de uma visão de mundo de um reducionista.

Richard Dawkins acha que “Se criaturas superiores do espaço alguma vez visitarem a Terra, a primeira pergunta que farão, para avaliar o nível da nossa civilização, será: ‘Eles já descobriram a evolução?’” Muitos filósofos concordaram com René Descartes que a epistemologia está subjacente a todo outro conhecimento e que alguma coisa como o argumento cogito ergo sum de Descartes é a nossa explicação mais básica. Muitos cientistas da computação ficaram tão impressionados com as recentes descobertas sobre as conexões entre a física e a computação que concluíram que o universo é um computador e as leis da física são programas executados nele. Mas tudo isso são perspectivas estreitas, até enganosas, sobre a verdadeira estrutura da realidade. Objetivamente, a nova síntese tem um caráter próprio, substancialmente diferente do de qualquer um dos quatro elementos que ela unifica.

Por exemplo, observei que a teoria fundamental de cada um dos quatro elementos foi criticada, em parte justificadamente, por ser “ingênua”,

“estreita”, “fria” e assim por diante. Assim, do ponto de vista de um físico reducionista, como Stephen Hawking, a raça humana é apenas uma “escória química” astrofisicamente insignificante. Steven Weinberg acha que “Quanto mais o universo parece compreensível, também mais parece sem sentido. Mas se não há consolo nos frutos da nossa pesquisa, pelo menos existe alguma consolação na própria pesquisa” (The First Three Minutes, p. 154). No entanto, qualquer um que não esteja envolvido em física fundamental deve se perguntar por quê.

Quanto à computação, o cientista de computadores Tomasso Toffoli observou que “Nós mesmos nunca efetuamos uma computação, apenas pegamos uma carona na grande Computação que já está em andamento”. Para ele, isso não é choro de desespero, bem o contrário. Mas os críticos da visão de mundo da ciência da computação não querem ver a si mesmos apenas como o programa de outrem sendo executado no computador de outrem. A teoria evolucionária estreitamente concebida nos considera meros “veículos” para a replicação dos nossos genes ou memes e recusa dedicar-se à questão de por que a evolução tendeu a criar complexidade adaptativa cada vez maior, ou o papel dessa complexidade no esquema maior das coisas. De modo semelhante, a crítica (cripto)indutivista da epistemologia popperiana é que, embora declare as condições para o crescimento do conhecimento científico, parece não explicar por que ele cresce — por que ele cria teorias que vale a pena utilizar.

Como expliquei, a defesa em cada caso depende de aduzir explicações de alguns dos outros elementos. Nós não somos meramente “escória química”, porque (por exemplo) o comportamento inteiro do nosso planeta, estrela e galáxia depende de uma quantidade física emergente, mas fundamental: o conhecimento naquela escória. A criação de conhecimento útil pela ciência e as adaptações pela evolução devem ser entendidas como a emergência da autosemelhança que é ordenada por um princípio da física, o princípio de Turing. E assim por diante.

Desta forma, o problema em tomar qualquer uma dessas teorias fundamentais individualmente como a base de uma visão de mundo é que cada uma delas é, em um sentido amplo, reducionista. Isto é, elas têm uma estrutura explicativa monolítica na qual tudo se segue de algumas ideias extremamente profundas. Mas isso deixa aspectos do assunto inteiramente inexplicados. Em contraste, a estrutura explicativa que elas conjuntamente oferecem para a estrutura da realidade não é hierárquica: cada um dos quatro

elementos contém princípios que são “emergentes” da perspectiva dos outros três, mas não obstante ajudam a explicá-los.

Três dos quatro elementos parecem excluir pessoas e valores humanos do nível fundamental da explicação. O quarto, a epistemologia, torna o conhecimento primário, mas não fornece motivo para considerar a própria epistemologia como tendo relevância além da psicologia da nossa própria espécie. O conhecimento parece um conceito paroquial, até que o consideremos de uma perspectiva de multiverso. Porém, se o conhecimento é de importância fundamental, podemos perguntar que tipo de papel parece agora natural para seres criadores de conhecimento, como nós mesmos, na estrutura da realidade unificada. Essa pergunta tem sido explorada pelo cosmólogo Frank Tipler. Sua resposta, a teoria do ponto ômega, é um excelente exemplo de uma teoria que, no sentido deste livro, é sobre a estrutura da realidade como um todo. Ela não é enquadrada dentro de nenhum dos elementos, mas pertence irredutivelmente a todos os quatro. Infelizmente o próprio Tipler, em seu livro The Physics of Immortality (A Física da Imortalidade), faz reivindicações exageradas para sua teoria, o que levou a maioria dos cientistas e filósofos a rejeitá-la sem demora, perdendo, desta forma, a valiosa ideia central que explicarei agora.

Da minha própria perspectiva, o mais simples ponto de entrada para a teoria do ponto ômega é o princípio de Turing. Um gerador universal de realidade virtual é fisicamente possível. Essa máquina é capaz de reproduzir qualquer ambiente fisicamente possível, como também certas entidades hipotéticas e abstratas, com qualquer exatidão desejada. Portanto, seu computador tem um requisito potencialmente ilimitado de memória adicional e pode funcionar durante um número ilimitado de passos. Era trivial arranjar isso na teoria clássica da computação, desde que o computador universal fosse encarado como puramente abstrato. Turing simplesmente postulou uma fita de memória de comprimento infinito (com, segundo ele pensava, propriedades autoevidentes), um processador perfeitamente exato que não exigia energia nem manutenção e tempo ilimitado disponível. Tornar o modelo mais realista, permitindo a manutenção periódica, não cria problema de princípio, mas os outros três requisitos — capacidade de memória ilimitada, tempo de funcionamento ilimitado e fornecimento de energia — são problemáticos à luz da teoria cosmológica existente. Em alguns modelos cosmológicos existentes, o universo reentrará em colapso em um Big Crunch depois de um tempo finito e também é espacialmente finito. Ele tem a

geometria de uma “3-esfera”, o análogo tridimensional da superfície bidimensional de uma esfera. Diante disso, tal cosmologia colocaria um limite finito tanto na capacidade de memória quando no número de passos de processamento que a máquina poderia executar antes que o universo terminasse. Isso tornaria um computador universal fisicamente impossível, portanto o princípio de Turing seria violado. Em outros modelos cosmológicos, o universo continua se expandindo para sempre e é espacialmente infinito, o que pareceria permitir a existência de uma fonte ilimitada de material para a manufatura de memória adicional. Infelizmente, na maioria desses modelos a densidade da energia disponível para alimentar o computador diminuiria à medida que o universo se expandisse e teria de ser coletada de distâncias cada vez maiores. Como a física impõe um limite absoluto de velocidade, a velocidade da luz, os acessos à memória do computador teriam de ser desacelerados, e o efeito líquido mais uma vez seria o de somente um número finito de passos de computação poderem ser executados.

A descoberta-chave na teoria do ponto ômega é a de uma classe de modelos cosmológicos na qual, embora o universo seja finito tanto em espaço quanto em tempo, a capacidade de memória, o número de passos de computação possíveis e o fornecimento de energia efetivo são todos ilimitados. Essa aparente impossibilidade pode acontecer por causa da extrema violência dos momentos finais do colapso Big Crunch do universo. As singularidades do espaço-tempo, como o Big Bang e o Big Crunch, raramente são lugares tranquilos, mas esse é muito pior do que a maioria. A forma do universo mudaria de uma 3-esfera para o análogo tridimensional da superfície de um elipsoide O grau de deformação aumentaria, depois diminuiria e então aumentaria novamente, mais rapidamente, em relação a um eixo diferente. Tanto a amplitude quanto a frequência dessas oscilações aumentaria sem limite à medida que a singularidade final se aproximasse, de forma que ocorreria um número literalmente infinito de oscilações, embora o fim viesse dentro de um tempo finito. A matéria como a conhecemos não sobreviveria: toda a matéria, e até os próprios átomos, seriam despedaçados pelas forças gravitacionais cortantes geradas pelo espaço-tempo deformado. Entretanto, essas forças também forneceriam uma fonte ilimitada de energia, que poderia, em princípio, ser usada para alimentar um computador. Como poderia um computador existir nessas condições? A única “coisa” restante para construir computadores seriam partículas elementares e a própria

gravidade, presumivelmente em alguns estados quânticos altamente exóticos cuja existência ainda somos incapazes de confirmar ou negar, por falta de uma teoria adequada da gravidade quântica. (Observá-las experimentalmente, é claro, está fora de questão.) Se existem estados adequados de partículas e o campo gravitacional, eles também proveriam uma capacidade ilimitada de memória e o universo estaria encolhendo tão rapidamente que um número infinito de acessos de memória seria exequível em um tempo finito antes do fim. O ponto final do colapso gravitacional, o Big Crunch dessa cosmologia, é o que Tipler chama de ponto ômega.

O princípio de Turing implica não haver limite superior para o número de passos de computação fisicamente possíveis. Portanto, dado que uma cosmologia de ponto ômega seja (sob assunções plausíveis) o único tipo no qual um número infinito de passos de computação poderia acontecer, podemos inferir que o nosso espaço-tempo real deve ter a forma do ponto ômega. Como toda computação cessaria tão logo não houvesse mais variáveis capazes de conduzir informações, podemos inferir que as variáveis físicas necessárias (talvez variáveis quântico gravitacionais) existem até o ponto ômega.

Um cético poderia argumentar que esse tipo de raciocínio envolve uma extrapolação imensa e injustificada. Nós só temos experiência de computadores “universais” em um ambiente dos mais favoráveis, o que nem remotamente se assemelha aos estágios finais do universo. E temos experiência deles efetuando apenas um número finito de passos de computação, usando somente uma quantidade finita de memória. Como pode ser válido extrapolar a partir desses números finitos para o infinito? Em outras palavras, como podemos saber que o princípio de Turing em sua forma forte é estritamente verdadeiro? Que evidência existe de que a realidade suporta mais do que universalidade aproximada?

Esse cético é, naturalmente, um indutivista. Além disso, esse é exatamente o tipo de pensamento que (como argumentei no capítulo anterior) nos impede de entender nossas melhores teorias e tirarmos proveito delas. O que é ou não é uma “extrapolação” depende de com qual teoria iniciamos. Se iniciamos com algum conceito vago mas paroquial do que é “normal” sobre as possibilidades da computação, um conceito desinformado pelas melhores explicações disponíveis sobre esse assunto, então consideraremos qualquer aplicação da teoria fora das circunstâncias familiares como “extrapolação injustificada”. Mas se iniciarmos com explicações da melhor teoria

fundamental disponível, consideraremos a própria ideia de que alguma "normalidade" nebulosa se mantém em situações extremas como uma extrapolação injustificada. Para entender nossas melhores teorias, devemos levá-las a sério como explicações da realidade e não considerá-las meros resumos de observações existentes. O princípio de Turing é a nossa melhor teoria sobre os fundamentos da computação. É claro que conhecemos apenas um número finito de ocorrências que o confirmam, mas isso é verdade para todas as teorias em ciência. Resta, e sempre restará, a possibilidade lógica de que a universalidade se mantém apenas aproximadamente. Mas não existe teoria rival da computação que reivindique isso. E com boa razão, pois um "princípio da universalidade aproximada" não teria poder explicativo. Se, por exemplo, quisermos entender por que o mundo parece compreensível, a explicação poderia ser que ele é compreensível. Tal explicação pode se adaptar, e de fato se adapta, a explicações de outros campos. Mas a teoria de que o mundo é meio compreensível não explica nada e não poderia se adaptar a explicações de outros campos, a não ser que eles a explicassem. Ela simplesmente reafirma o problema e introduz uma constante inexplicada, um meio. Em resumo, o que justifica assumir que todo o princípio de Turing se mantém no fim do universo é que qualquer outra suposição arruína boas explicações do que está acontecendo aqui e agora.

Acontece que o tipo de oscilações do espaço que faria um ponto ômega acontecer são altamente instáveis (na maneira do caos clássico) e também violentas. E elas ficam assim cada vez mais, sem limite, à medida que o ponto ômega se aproxima. Um pequeno desvio da forma correta seria ampliado rápido o suficiente para que as condições para a computação contínua fossem violadas, de forma que o Big Crunch aconteceria depois de apenas um número finito de passos de computação. Portanto, para satisfazer o princípio de Turing e atingir o ponto ômega, o universo teria de ser continuamente "dirigido" de volta para as trajetórias corretas. Tipler mostrou em princípio como isso poderia ser feito, pela manipulação do campo gravitacional sobre o todo do espaço. Presumivelmente (mais uma vez precisaríamos de uma teoria quântica da gravidade para saber com certeza), a tecnologia usada para estabilizar mecanismos e para armazenar informações teria de ser continuamente melhorada — na verdade, melhorada um número infinito de vezes — à medida que a densidade e as tensões se tornassem cada vez mais elevadas sem limite. Isso exigiria a criação contínua de novos conhecimentos, o que, segundo nos diz a epistemologia popperiana, requer a

presença de crítica racional e assim de entidades inteligentes. Portanto, nós inferimos, apenas do princípio de Turing e de algumas outras suposições independentemente justificáveis, que a inteligência sobreviverá e o conhecimento continuará a ser criado até o fim do universo.

Os procedimentos de estabilização e os processos de criação de conhecimento que os acompanham terão de ser cada vez mais rápidos até que, no frenesi final, uma quantidade infinita de ambos ocorra em um tempo finito. Não conhecemos nenhum motivo para os recursos físicos não estarem disponíveis para isso, mas poder-se-ia imaginar por que os habitantes deveriam se incomodar em passar por tantos problemas. Por que eles deveriam continuar tão cuidadosamente a dirigir a oscilação gravitacional durante, digamos, o último segundo do universo? Se você tem apenas um segundo para viver, por que simplesmente não recostar e relaxar finalmente? Mas é claro que essa é uma interpretação errônea da situação. Dificilmente poderia ser mais errônea. Pois a mente dessas pessoas estará funcionando como um programa de computador em computadores cuja velocidade aumenta sem limites. Seus pensamentos, como os nossos, serão reproduções de realidade virtual executadas por esses computadores. É verdade que no fim desse segundo final todo o mecanismo sofisticando será destruído. Mas sabemos que a duração subjetiva de uma experiência de realidade virtual é determinada não pelo tempo decorrido, mas pelas computações efetuadas nesse tempo. Em um número infinito de passos de computação há tempo para um número infinito de pensamentos — muito tempo para os pensadores colocarem a si mesmos em qualquer ambiente de realidade virtual que desejarem e para experimentá-lo por quanto tempo quiserem. Se ficarem cansados, poderão mudar para qualquer outro ambiente ou para qualquer quantidade de outros ambientes que se derem ao trabalho de projetar. Subjetivamente, eles não estarão nos estágios finais de suas vidas, mas no começo. Eles não terão pressa, pois subjetivamente, viverão para sempre. Com um segundo ou um microssegundo pela frente, eles ainda terão “todo o tempo do mundo” para fazer mais, experimentar mais, criar mais — infinitamente mais — do que qualquer um do multiverso terá feito antes de então. Portanto, existem todos os incentivos para eles dedicarem a atenção a administrar seus recursos. Fazendo isso, eles estarão apenas preparando seu próprio futuro, um futuro aberto, infinito, do qual eles terão total controle e no qual, em qualquer momento específico, estarão apenas embarcando.

Podemos esperar que a inteligência no ponto ômega consistirá nos

nossos descendentes. Quer dizer, nos nossos descendentes intelectuais, pois nossa forma física atual poderia não sobreviver perto do ponto ômega. Em algum estágio os seres humanos teriam de transferir os programas de computador que estão em suas mentes para hardware mais robusto. Na verdade, isso terá de ser feito um número infinito de vezes.

A mecânica de "dirigir" o universo para o ponto ômega exige que sejam tomadas medidas em todo o espaço. Segue-se que a inteligência terá de se espalhar por todo o universo a tempo de fazer os necessários ajustes. Esta é uma de uma série de prazos finais que Tipler mostrou que deveríamos cumprir — e ele mostrou que satisfazer cada um deles, com o melhor do nosso conhecimento atual, é fisicamente possível. O primeiro prazo é (como observei no Capítulo 8) de cerca de cinco bilhões de anos a partir de agora, quando o Sol, se for deixado por sua própria conta, se transformara em uma estrela gigante vermelha e nos exterminará. Devemos aprender a controlar ou abandonar o Sol antes que isso aconteça. Então devemos colonizar a nossa galáxia, depois o aglomerado local de galáxias e depois o universo inteiro. Devemos fazer cada uma dessas coisas com tempo suficiente para cumprir o prazo final correspondente, mas não devemos avançar tão depressa que gastemos todos os recursos necessários antes de desenvolvermos o próximo nível de tecnologia.

Eu digo "devemos" fazer tudo isso, mas apenas assumindo que somos nós os ancestrais da inteligência que existirá no ponto ômega. Não precisaremos desempenhar esse papel se não quisermos. Se escolhermos não fazer isso e o princípio de Turing for verdadeiro, podemos ter certeza de que alguém mais (presumivelmente alguma inteligência extraterrestre) fará.

Enquanto isso, em universos paralelos nossas contrapartes estão fazendo as mesmas escolhas. Elas terão sucesso? Ou, dizendo de outra forma, alguém necessariamente terá sucesso em criar um ponto ômega no nosso universo? Isso depende dos pequenos detalhes do princípio de Turing. Ele diz que um computador universal é fisicamente possível, e "possível" usualmente significa "real neste ou em algum outro universo". O princípio exige que um computador universal seja construído em todos os universos ou apenas em alguns, ou talvez na "maioria"? Ainda não entendermos o princípio suficientemente bem para decidir. Alguns princípios da física, como o da conservação da energia, só se mantêm para um grupo de universos e podem, sob algumas circunstâncias, ser violados em universos individuais. Outros, como o princípio da conservação da carga, se mantêm estritamente em cada

um dos universos. As duas formas mais simples do princípio de Turing seriam: (1) existe um computador universal em todos os universos; ou (2) existe um computador universal em pelo menos alguns universos.

A versão “todos os universos” parece forte demais para exprimir a ideia intuitiva de que tal computador é fisicamente possível. Mas “pelo menos alguns universos” parece fraca demais, pois, diante dela, se a universalidade se mantém apenas em bem poucos universos, então ela perde seu poder explicativo. Mas uma versão “maioria dos universos” exigiria que o princípio especificasse determinada porcentagem, digamos 85%, o que parece muito implausível. (Não existem constantes “naturais” na física, diz a máxima, exceto zero, um e infinito.) Portanto, Tipler com efeito opta por “todos os universos” e eu concordo que essa é a escolha mais natural, dado o quão pouco sabemos.

Isso é tudo o que a teoria do ponto ômega — ou melhor, o componente científico que estou defendendo — tem a dizer. Pode-se chegar à mesma conclusão por diversos pontos de partida diferentes em três dos quatro elementos. Um deles é o princípio epistemológico que diz que a realidade é compreensível. Esse princípio também é independentemente justificável até onde está subjacente à epistemologia popperiana. Mas suas formulações existentes também são vagas para que conclusões categóricas sobre, digamos, a falta de limitação das representações físicas do conhecimento sejam tiradas dele. É por isso que prefiro não postulá-lo diretamente, mas inferi-lo do princípio de Turing. (Este é outro exemplo do maior poder explicativo disponível quando se consideram os quatro elementos como conjuntamente fundamentais.) O próprio Tipler baseia-se ou no postulado que diz que a vida continuará para sempre, ou no que diz que o processamento de informações continuará para sempre. Da nossa perspectiva atual, nenhum desses postulados parece fundamental. A vantagem do princípio de Turing é que ele já é, por razões independentes da cosmologia, considerado um princípio fundamental da natureza — reconhecidamente nem sempre nesta forma forte, mas eu tenho argumentado que a forma forte é necessária se o princípio deve ser integrado na física.

Tipler argumenta que a ciência da cosmologia tendeu a estudar o (na verdade, principalmente o passado distante) do espaço-tempo. Mas a maior parte do espaço-tempo encontra-se no futuro da época presente. A cosmologia existente trata do problema de se o universo entrará ou não em recolapso, mas à parte isso tem havido muito pouca investigação teórica

sobre a maior parte do espaço-tempo. Em particular, a condução para o Big Crunch tem recebido muito menos estudo do que a consequência do Big Bang. Tipler vê a teoria do ponto ômega como preenchendo essa lacuna. Acredito que essa teoria merece se tornar a teoria predominante do futuro do espaço-tempo até e a menos que seja experimentalmente (ou de outra forma) refutada. (A refutação experimental é possível porque a existência de um ponto ômega no nosso futuro estabelece certas restrições para a condição do universo hoje.)

Tendo estabelecido o cenário do ponto ômega, Tipler faz suposições adicionais — algumas plausíveis, outras não — que o habilitam a preencher mais detalhes da história do futuro. E a interpretação quase religiosa de Tipler dessa história do futuro, e seu fracasso em distinguir essa interpretação da teoria científica subjacente, que impediram a última de ser levada a sério. Tipler observa que uma quantidade infinita de conhecimento terá sido criada pelo tempo do ponto ômega. Então ele presume que as inteligências existentes nesse futuro distante irão querer (ou talvez precisar), como nós, descobrir conhecimento diferente do que é imediatamente necessário para sua sobrevivência. Na verdade, eles têm o potencial para descobrir todo conhecimento que é fisicamente conhecível, e Tipler presume que eles o farão.

Portanto, em certo sentido, o ponto ômega será onisciente.

Mas apenas em um sentido. Ao atribuir propriedades como a onisciência ou até a existência física ao ponto ômega, Tipler faz uso de um dispositivo linguístico conveniente, muito comum na física matemática, mas pode ser enganoso se tomado literalmente. O dispositivo é identificar um ponto limitador de uma sequência com a própria sequência. Assim, quando ele diz que o ponto ômega "conhece" X, quer dizer que X é conhecido por alguma entidade finita antes do momento do ponto ômega e subsequentemente nunca é esquecido. O que ele não quer dizer é que existe uma entidade conhecedora literalmente no ponto final do colapso gravitacional, pois não existe nenhuma entidade física ali. Assim, no sentido mais literal, o ponto ômega não sabe nada e pode-se dizer que ele "existe" apenas porque algumas das nossas explicações da estrutura da realidade referem-se às propriedades limitadoras dos eventos físicos no futuro distante.

Tipler usa o termo teológico "onisciente" por um motivo que em breve se tornará claro; mas deixe-me observar de uma vez que neste caso ele não carrega toda sua conotação tradicional. O ponto ômega não saberá tudo. A

esmagadora maioria das verdades abstratas, como as verdades sobre os ambientes Cantgotu e assemelhados, será inacessível a ele da mesma forma que são a nós.

Como o todo do espaço será preenchido pelo computador inteligente, ele será onipresente (embora apenas depois de certa data). Como ele estará continuamente reconstruindo a si mesmo e dirigindo o colapso gravitacional, pode ser encarado como estando no controle de tudo o que acontece no universo material (ou multiverso, se o fenômeno ponto ômega acontecer em todos os universos). Portanto, diz Tipler, ele será onipotente. Mas, outra vez, essa onipotência não é absoluta. Ao contrário, é estritamente limitada à matéria e energia disponíveis e está sujeita às leis da física.

Como as inteligências no computador serão pensadores criativos, elas devem ser classificadas como "pessoas". Qualquer outra classificação, Tipler argumenta corretamente, seria racista. E assim ele afirma que, no limite do ponto ômega, há uma sociedade onisciente, onipotente e onipresente de pessoas. Essa sociedade Tipler identifica como Deus.

Mencionei vários aspectos nos quais o "Deus" de Tipler difere do Deus ou deuses em que a maioria das pessoas religiosas acredita. Existem outras diferenças também. Por exemplo, as pessoas que estão perto do ponto ômega não poderiam, mesmo se quisessem, falar conosco ou comunicar seus desejos para nós, ou fazer milagres (hoje). Elas não criaram o universo e não inventaram as leis da física — nem poderiam violar essas leis se quisessem. Elas podem ouvir preces do dia de hoje (talvez detectando sinais muito fracos), mas não podem respondê-las. Elas são (e isto podemos inferir da epistemologia popperiana) contrárias à fé religiosa e não desejam ser veneradas. E assim por diante. Mas Tipler prossegue e argumenta que a maioria das características centrais do Deus das religiões judaico-cristãs também são propriedades do ponto ômega. A maioria das pessoas religiosas, creio eu, discordará de Tipler sobre o que são as características centrais das suas religiões.

Em particular, Tipler afirma que uma tecnologia suficientemente avançada será capaz de ressuscitar os mortos. Ela poderia fazer isso de diversas maneiras diferentes, das quais a seguinte é talvez a mais simples. Uma vez que se tenha poder de computação suficiente (e lembre-se de que finalmente qualquer quantidade desejada estará disponível), pode-se executar uma reprodução de realidade virtual de todo o universo — na verdade, todo o multiverso — começando pelo Big Bang, com qualquer grau desejado de

exatidão. Se não se conhece o estado inicial com exatidão suficiente, pode-se tentar uma amostragem arbitrariamente fina de todos os estados iniciais possíveis e reproduzi-los simultaneamente. A reprodução pode ter de fazer uma pausa, por razões de complexidade, se a época sendo reproduzida chegar muito perto da ocasião em que a reprodução está sendo executada. Mas logo ela poderá continuar à medida que mais poder de computação entrar em operação. Para os computadores do ponto ômega nada é intratável. Existem apenas "computável" e "não computável", e a reprodução de ambientes físicos reais definitivamente entra na categoria "computável". Durante essa reprodução o planeta Terra e muitas de suas variações aparecem. A vida, e eventualmente seres humanos, evoluem. Todos os seres humanos que em qualquer ocasião viveram em qualquer lugar do multiverso (isto é, todos aqueles cuja existência foi fisicamente possível) aparecem em algum lugar dessa vasta reprodução. Também toda inteligência extraterrestre e artificial que pode ter existido em alguma época. O programa controlador pode procurar por esses seres inteligentes e, se quiser, colocá-los em um ambiente virtual melhor — talvez um ambiente em que eles não morrerão novamente e terão seus desejos satisfeitos (ou, pelo menos, todos os desejos que um dado nível de recursos de computação, inimaginavelmente alto, possa satisfazer). Por que ele faria isso? Um motivo poderia ser moral: pelos padrões do futuro distante, o ambiente em que vivemos hoje é extremamente severo e nós sofremos atrozmente. Pode ser considerado antiético não resgatar essas pessoas e lhes dar uma chance de uma vida melhor. Mas seria contra produtivo colocá-las imediatamente em contato com a cultura contemporânea na hora da ressurreição: instantaneamente elas ficariam confusas, humilhadas e perturbadas. Portanto, diz Tipler, podemos esperar ser ressuscitados em um ambiente de um tipo que nos é essencialmente familiar, exceto que cada elemento desagradável terá sido removido e muitos extremamente agradáveis terão sido acrescentados. Em outras palavras, o paraíso.

Tipler continua desse jeito para reconstituir muitos outros aspectos da paisagem religiosa tradicional redefinindo-os como entidades ou processos físicos que se pode plausivelmente esperar que existam perto do ponto ômega. Agora vamos pôr de lado a questão de as versões reconstituídas serem verdadeiras para seus análogos religiosos. Toda a história sobre o que essas inteligências do futuro distante farão ou não é baseada em uma cadeia de suposições. Mesmo se admitirmos que essas suposições são individualmente plausíveis, as conclusões gerais não podem realmente

reivindicar ser mais do que especulações informadas. Vale a pena fazer essas especulações, mas é importante distingui-las do argumento para a existência do próprio ponto ômega e da teoria das propriedades físicas e epistemológicas do ponto ômega. Pois esses argumentos não pressupõem mais do que a estrutura da realidade realmente se conforma com nossas melhores teorias, uma suposição que pode ser justificada independentemente.

Como um alerta contra a não confiabilidade até mesmo da especulação informada, vamos revisitar o antigo mestre construtor do Capítulo 1, com seu conhecimento pré- científico de arquitetura e engenharia. Estamos separados dele por um abismo cultural tão grande que seria extremamente difícil para ele conceber uma figura aproveitável da nossa civilização. Mas nós e ele somos quase contemporâneos em comparação com a enorme lacuna entre nós e o momento mais antigo possível da ressurreição tipleriana. Agora suponha que o mestre construtor esteja especulando sobre o futuro distante da indústria de construções e que, por um extraordinário e feliz acaso, descu¬bra uma avaliação perfeitamente precisa da tecnologia atual. Então ele saberá, entre outras coisas, que somos capazes de construir estruturas vastamente maiores e mais impressionantes do que as maiores catedrais da sua época. Poderíamos construir uma catedral de um quilômetro e meio de altura se quiséssemos. E poderíamos fazer isso usando uma parte muito menor da nossa riqueza, e menos tempo e esforço humano do que teria sido necessário para construir até mesmo uma modesta catedral. Portanto, ele confiaria em prever que, por volta do ano 2000, haveria catedrais de um quilômetro e meio de altura. Ele estaria errado, e muito, pois embora tenhamos a tecnologia para construir tais estruturas, nós escolhemos não fazê-lo. Na verdade, agora parece improvável que algum dia será construída uma catedral desse tipo. Embora tenhamos suposto que nosso quase contemporâneo esteja certo sobre a nossa tecnologia, ele estaria muito errado sobre nossas preferências. Ele estaria errado porque algumas das suas suposições mais inquestionáveis sobre as motivações humanas tornaram-se obsoletas depois de apenas alguns séculos.

De modo semelhante, pode ser natural para nós que as inteligências do ponto ômega, por razões de pesquisa histórica ou arqueológica, ou por compaixão, ou dever moral, ou mero capricho, eventualmente criarão reproduções de realidade virtual de nós e que, quando seu experimento tiver terminado, eles nos concederão os recursos de computação triviais de que precisaríamos para viver para sempre no “paraíso”. (Eu preferiria que me

permitissem me unir gradualmente à sua cultura.) Mas não podemos saber o que eles desejarão. Na verdade, nenhuma tentativa de profetizar desenvolvimentos futuros de grande escala nas atividades humanas (ou super-humanas) pode produzir resultados confiáveis. Como Popper afirmou, o curso futuro das atividades humanas depende do futuro crescimento do conhecimento. E não podemos prever qual conhecimento específico será criado no futuro, porque, se pudéssemos, por definição já possuiríamos esse conhecimento no presente.

Não é somente o conhecimento científico que informa as preferências das pessoas e determina como elas escolhem se comportar. Há também, por exemplo, critérios morais, que designam atributos como “certo” e “errado” a possíveis ações. Tais valores têm sido notoriamente difíceis de acomodar na visão de mundo científica. Eles parecem formar sua própria estrutura explicativa fechada, desconectada do mundo físico. Como apontou David Hume, é impossível logicamente derivar um “deve” de um “é”. No entanto, usamos esses valores tanto para explicar quanto para determinar nossas ações físicas.

A pobre relação de moralidade é utilidade. Como parece muito mais fácil entender o que é objetivamente útil ou inútil do que é objetivamente certo ou errado, têm existido muitas tentativas de definir a moralidade em termos de várias formas de utilidade. Existe, por exemplo, a moralidade evolucionária, que observa que muitas formas de comportamento que explicamos em termos morais, como não cometer assassinato, ou não trapacear quando cooperamos com outras pessoas, têm análogos no comportamento dos animais. E existe um ramo da teoria da evolução, a sociobiologia, que tem tido algum sucesso em explicar o comportamento animal. Muitas pessoas têm sido tentadas a concluir que as explicações morais para as escolhas humanas são apenas aparências enganosas; que a moralidade não tem nenhuma base objetiva, e que “certo” e “errado” são simplesmente rótulos que aplicamos aos nossos anseios inatos de comportar-nos de uma maneira em vez de outra. Outra versão da mesma explicação substitui genes por memes e alega que a terminologia moral é apenas aparência enganosa do condicionamento social. Entretanto, nenhuma dessas explicações se adapta aos fatos. Por um lado, nós não tendemos a explicar o comportamento inato — digamos, predisposição epiléptica — em termos de escolhas morais; nós temos noção de ações voluntárias e involuntárias e somente as voluntárias têm explicações morais. Por outro lado, é difícil

pensar em um único comportamento humano inato — evitar a dor, fazer sexo, comer ou qualquer outra coisa — que os seres humanos, sob várias circunstâncias, não escolheram sobrepujar por razões morais. A mesma coisa é verdadeira, ainda mais comumente, para o comportamento socialmente condicionando. Na verdade, sobrepujar tanto o comportamento inato quanto o socialmente condicionado é por si mesmo um comportamento humano característico. Igualmente é explicar tais rebeliões em termos morais. Nenhum desses comportamentos tem qualquer análogo entre os animais; em nenhum desses casos as explicações morais podem ser reinterpretadas em termos genéticos ou meméticos. Esta é uma falha fatal de toda essa classe de teorias. poderia haver um gene para sobrepujar genes quando se tem vontade? Condicionamento social que promove rebelião? Talvez, mas isso ainda deixa o problema de como escolhemos o que fazer em seu lugar e do que queremos dizer quando explicamos nossa rebelião alegando que estávamos simplesmente certos e que o comportamento prescrito pelos nossos genes ou pela nossa sociedade nessa situação era simplesmente maldoso.

Essas teorias genéticas podem ser vistas como caso especial de um estratagema maior, o de negar que os julgamentos morais são significativos porque nós não escolhemos realmente nossas ações — que o livre-arbítrio é uma ilusão incompatível com a física. Mas na verdade, como vimos no Capítulo 13, o livre-arbítrio é compatível com a física e adapta-se muito naturalmente à estrutura da realidade que descrevi.

O utilitarismo foi uma tentativa de integrar as explicações morais com a visão de mundo científica por meio da “utilidade”. Aqui “utilidade” foi identificada com felicidade humana. Fazer escolhas morais foi identificado com calcular qual ação produziria a maior felicidade, para uma pessoa ou (e aqui a teoria ficou mais vaga) para “o maior número” de pessoas. Versões diferentes da teoria substituíram “felicidade” por “prazer” ou “preferência”. Considerado um repúdio a sistemas mais antigos e autoritários de moralidade, o utilitarismo é irrepreensível. E no sentido em que ele simplesmente advoga a rejeição do dogma e a ação segundo a teoria “preferida”, a que sobreviveu à crítica racional, cada pessoa racional é um utilitarista. Mas como tentativa de solucionar o problema que estamos discutindo, de explicar o significado dos julgamentos morais, ele também tem um defeito fatal: nós escolhemos nossas preferências. Em particular, nós mudamos nossas preferências e damos explicações morais para fazer isso. Tal explicação não pode ser traduzida em termos utilitários. Existe uma preferência principal subjacente que controla as

mudanças de preferência? Se assim for, ela mesma não poderia ser mudada, e o utilitarismo degeneraria na teoria genética da moralidade que discutimos anteriormente.

Então, o que é o relacionamento dos valores morais com a visão de mundo científica particular que estou defendendo neste livro? Eu posso pelo menos argumentar que não existe obstáculo fundamental para formular uma visão. O problema com todas as "visões de mundo científicas" anteriores era que elas tinham estruturas explicativas hierárquicas. Da mesma forma que é impossível, dentro de tal estrutura, "justificar" teorias científicas como verdadeiras, também não podemos justificar um curso de ação como certo (porque então, como se justificaria a estrutura como um todo como sendo certa?). Como eu disse, cada um dos quatro elementos tem uma estrutura explicativa hierárquica. Mas a estrutura da realidade como um todo não tem. Portanto, explicar valores morais como atributos objetivos dos processos físicos não precisa ser equivalente a derivá-los de qualquer coisa, mesmo em princípio. Da mesma forma que com entidades matemáticas abstratas, será uma questão de com o que eles contribuem para a explicação — se a realidade física pode ou não ser entendida sem também atribuir realidade a tais valores.

Nessa conexão, deixe-me destacar que "emergência" no sentido padrão é apenas uma maneira pela qual as explicações de elementos diferentes podem ser relacionadas. Até agora eu realmente considerei apenas o que poderia ser chamado de emergência de previsões. Por exemplo, acreditamos que as previsões da teoria da evolução resultam logicamente das leis da física, mesmo que provar a ligação pudesse ser computacionalmente intratável. Mas não se acredita que as explicações na teoria da evolução resultem da física. Entretanto, uma estrutura explicativa não hierárquica permite a possibilidade da emergência explicativa. Suponha, para argumentar, que dado julgamento moral possa ser explicado como certo em um sentido utilitário estreito. Por exemplo: "Eu quero isso; não prejudica ninguém; portanto é certo". Esse julgamento poderia um dia ser posto em questão. Eu poderia imaginar: "Eu deveria querer?" Ou "Estou realmente certo de que não prejudica ninguém?" — pois o próprio problema de quem eu julgo que a ação "prejudica" depende de suposições morais. O fato de eu ficar sentado quieto em uma cadeira, na minha própria casa "prejudica" a todos na Terra que poderiam se beneficiar se eu saísse e os ajudasse naquele momento; e "prejudica" qualquer número de ladrões que gostariam de roubar

a cadeira se eu estivesse em outro lugar por algum tempo, e assim por diante. Para resolver esses problemas aduzo outras teorias morais que envolvem novas explicações da minha situação moral. Quando essa explicação parecer satisfatória, eu a usarei como tentativa para fazer julgamentos de certo e errado. Mas a explicação, embora temporariamente satisfatória para mim, ainda não se eleva acima do nível utilitário.

Mas agora suponha que alguém forme uma teoria geral sobre essas próprias explicações. Suponha que elas introduzam um conceito de nível mais alto, como "direitos humanos", e tente adivinhar que a introdução desse conceito, para dada classe de problemas morais como a que acabei de descrever, sempre gerará uma nova explicação que soluciona o problema no sentido utilitário. Suponha ainda que esta teoria sobre explicações seja por si mesma uma teoria explicativa. Ela explica, em termos de algum outro elemento, por que analisar problemas em termos de direitos humanos é "melhor" (no sentido utilitário). Por exemplo, poderia explicar com base epistemológica por que se pode esperar que o respeito aos direitos humanos promova o crescimento do conhecimento, o qual por si mesmo é uma precondição para solucionar problemas morais.

Se a explicação parecer boa, talvez valha a pena adotar essa teoria. Além disso, como os cálculos utilitários são extremamente difíceis de efetuar, ao passo que analisar uma situação em termos de direitos humanos é muitas vezes exequível, pode valer a pena usar uma análise de "direitos humanos" preferencialmente a qualquer teoria específica sobre o que são as implicações da felicidade de determinada ação. Se tudo isso fosse verdade, talvez o conceito de "direitos humanos" não pudesse ser expresso, mesmo em princípio, em termos de "felicidade", que ele não é um conceito utilitário. Podemos chamá-lo de conceito moral. A ligação entre os dois é feita por meio de explicações emergentes, não de previsão emergente.

Não estou defendendo essa determinada abordagem de modo especial; estou meramente ilustrando a maneira como os valores morais poderiam existir objetivamente ao desempenhar um papel em explicações emergentes. Se essa abordagem funcionasse, explicaria a moralidade como um tipo de "utilidade emergente".

De modo semelhante, "valor artístico" e outros conceitos estéticos sempre foram difíceis de explicar em termos objetivos. Eles também são muitas vezes explicados como características arbitrárias de cultura, ou em termos de preferências inatas. E mais uma vez vemos que não é

necessariamente assim. Da mesma forma que a moralidade está relacionada com a utilidade, o valor artístico tem uma contraparte menos exaltada, porém mais objetivamente definível, o projeto. Mais uma vez, o valor de uma característica de projeto só é compreensível no contexto de um dado propósito para o objeto projetado. Mas podemos achar que é possível melhorar projetos incorporando um bom critério estético aos critérios de projeto. Esse critério estético seria incalculável a partir dos critérios de projeto; um dos seus usos seria melhorar os próprios critérios de projeto. O relacionamento seria mais uma vez de emergência explicativa. E o valor artístico, ou beleza, seria um tipo de projeto emergente.

O excesso de confiança de Tipler ao prever os motivos das pessoas perto do ponto ômega fez com que ele subestimasse uma implicação importante da teoria do ponto ômega para o papel da inteligência no multiverso. E que a inteligência não está lá apenas para controlar eventos físicos na maior escala, está lá também para escolher o que irá acontecer. Os fins do universo são, como disse Popper, para nós escolhermos. Na verdade, em grande parte o conteúdo dos pensamentos inteligentes futuros é o que acontecerá, pois no fim o todo do espaço e seu conteúdo será o computador. O universo no final consistirá, literalmente, em processos de pensamento inteligentes. Em algum lugar na direção do longínquo fim desses pensamentos materializados jaz, talvez, todo o conhecimento físico possível, expresso em padrões físicos.

As deliberações morais e estéticas também são expressas nesses padrões, como são os resultados dessas deliberações. Na verdade, exista ou não um ponto ômega, onde quer que haja conhecimento no multiverso (complexidade através de muitos universos), deve haver também os traços físicos do raciocínio moral e estético que determinou que tipo de problemas a entidade criadora de conhecimento escolhe solucionar ali. Em particular, antes que qualquer conhecimento factual possa se tornar semelhante através de uma faixa de universos, os julgamentos moral e estético já devem ter sido semelhantes através desses universos. Segue-se que tais julgamentos também contêm conhecimento objetivo, no sentido físico de multiverso. Isso justifica o uso da terminologia epistemológica, como “problema”, “soluções”, “raciocínio” e “conhecimento” em ética e estética. Assim, se a ética e a estética são compatíveis com a visão de mundo defendida neste livro, a beleza e a certeza devem ser tão objetivas quanto a verdade científica ou matemática. E devem ser criadas de maneira análoga, por meio de conjetura e crítica racional.

Portanto, Keats tinha razão quando disse que “beleza é verdade, beleza da verdade”. Elas não são a mesma coisa, mas são o mesmo tipo de coisa; elas são criadas da mesma maneira e são inseparavelmente relacionadas. (Mas é claro que ele estava muito errado ao continuar: “Isso é tudo o que vós sabeis na terra e tudo o que precisais saber”.)

Em seu entusiasmo (no sentido original da palavra!), Tipler negligenciou parte da lição popperiana sobre como deve se parecer o crescimento do conhecimento. Se o ponto ômega existe e se ele será criado da maneira que Tipler estabeleceu, então o universo perto do fim realmente consistirá em pensamentos incorporados de sabedoria, criatividade e números absolutos inconcebíveis. Mas pensamento é solução de problemas e solução de problemas significa conjeturas rivais, erros, crítica, refutação e retrocessos. Reconhecidamente, no limite (que ninguém experimenta), no instante em que o universo termina, tudo o que é compreensível pode ter sido entendido. Mas a cada ponto finito o conhecimento dos nossos descendentes será permeado de erros. O conhecimento deles será maior, mais profundo e mais amplo do que podemos imaginar, mas eles também cometerão erros em uma escala correspondentemente titânica.

Como nós, eles nunca conhecerão a certeza ou a segurança física, pois a sua sobrevivência, como a nossa, dependerá da criação de uma corrente contínua de conhecimento. Se alguma vez eles falharem, mesmo uma só vez, em descobrir uma maneira de aumentar sua velocidade de computação e capacidade de memória dentro do período disponível, como determinado pela lei física inexorável, o céu cairá sobre eles e eles morrerão. Sua cultura provavelmente será pacífica e benevolente para além dos nossos sonhos mais malucos; no entanto, não será tranquila Ela estará envolvida na solução de problemas tremendos e será dividida por apaixonadas controvérsias. Por esse motivo, parece pouco provável que ela poderia ser considerada utilmente uma “pessoa”. Em vez disso, será um vasto número de pessoas interagindo em muitos níveis de muitas maneiras diferentes, mas discordando. Elas não falarão com uma só voz, não mais do que os cientistas atuais em um seminário de pesquisas falam com uma só voz. Mesmo quando, por acaso, elas concordarem, muitas vezes estarão enganadas e muitos dos seus erros permanecerão sem correção por períodos de tempo muito longos (subjetivamente). Nem a cultura se tornará moralmente homogênea, pelo mesmo motivo. Nada será sagrado (certamente outra diferença da religião convencional!) e as pessoas questionarão continuamente suposições que

outras pessoas consideram verdades morais fundamentais. Naturalmente a moralidade, sendo real, é compreensível pelos métodos da razão e portanto cada controvérsia particular será resolvida. Mas ela será substituída por outras controvérsias, ainda mais excitantes e fundamentais. Essa coleção discordante porém progressiva de comunidades sobrepostas é muito diferente do Deus no qual as pessoas religiosas acreditam. Mas ela, ou melhor, alguma subcultura dentro dela, é o que estará nos ressuscitando, se Tipler estiver certo.

Em vista de todas as ideias unificadoras que discuti, como a computação quântica, a epistemologia evolucionária e os conceitos de multiverso de conhecimento, livre-arbítrio e tempo, parece claro para mim que a tendência atual no nosso entendimento geral da realidade é exatamente como eu, quando criança, esperei que seria. Nosso conhecimento está se tornando tanto mais amplo quanto mais profundo e, como afirmei no Capítulo 1, a profundidade está ganhando. Mas afirmo mais do que isso neste livro. Defendo uma particular visão de mundo unificada baseada nos quatro elementos: a física quântica do multiverso, a epistemologia popperiana, a teoria da evolução de Darwin-Dawkins e uma versão fortificada da teoria da computação universal de Turing. Parece-me que, no estado atual do nosso conhecimento científico, esta é a visão “natural” que deve ser mantida. É a visão conservadora, que não propõe nenhuma mudança surpreendente nas nossas melhores explicações fundamentais. Portanto, deve ser a visão predominante, aquela contra a qual as inovações propostas são julgadas. Esse é o papel que estou advogando para ela. Não estou esperando criar uma nova ortodoxia; longe disso. Como eu disse, acho que é hora de mudar para melhor. Mas só podemos mudar para teorias melhores se levarmos a sério nossas melhores teorias existentes, como explicações do mundo.

Bibliografia

Todos Deveriam Ler Estes Livros

DAWKINS, Richard. *The Selfish Gene,* Oxford University Press, 1976. [Edição revista em 1989.]

_____. *The Blind Watchmaker,* Longman, 1986, Norton, 1987; Penguin Books, 1990.

DEUTSCH, David. Comment on “Many Minds' interpretation of Quantum Mechanics” by Michael Lockwood', *British journal for the Philosophy of Science,* 1996, vol.47, nº 2, p. 222.

_____e LOCKWOOD, Michael. "The Quantum Physics of Time Travel", *Scientific American,* março de 1994, p. 68.

HOFSTADTER, Douglas R. *Gödel, Escher, Bach, an Eternal Golden Braid,* Harvester, 1979, Vintage Books, 1980.

HOGAN, James P. *The Proteus Operation,* Baen Books, 1986, Century Publishing, 1986. [Ficção!]

MAGEE, Bryan. *Popper,* Fontana, 1973, Viking Penguin, 1995.

POPPER, Karl. *Conjectures and Refutations,* Routledge, 1963, HarperCollins, 1995.

___. *The Myth of the Framework,* Routledge, 1992.

Outras Leituras

BARROW, John e TIPLER, Frank. *The Anthropic Cosmological Principle,* Clarendon Press, 1986.

BENNETT, Charles H., BRASSARD, Gilles e EKERT, Artur K. "Quantum Cryptography", *Scientific American,* outubro de 1992.

BRONOWSKI, Jacob. *The Ascent of Man,* BBC Publications, 1981, Little Brown, 1976.

BROWN, Julian. "A Quantum Revolution for Computing", *New Scientist,* 24 de setembro de 1994.

DAVIES, Paul e BROWN, Julian. *1be Ghost ín the Atom,* Cambridge University Press, 1986. DAWKINS, Richard. *1be Extended Phenotype,* Oxford University Press, 1982.

DENNETT, Daniel C. *Darwin 's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life,* Allen Lane, 1995; Penguin Books, 1996.

DeWITT, Bryce S. e GRAHAM, Neill (eds.). *The Many Worlds*

Interpretation of Quantum Mechanics, Princeton University Press, 1973.

EKERT, Artur K. "Quantum Keys for Keeping Secrets", *New Scientist,* 16 de janeiro de 1993.

Freedom and Rationality: Essays ín Honour of John Watkíns, Kluwer, 1989.

GEYMONAT, Ludovico. *Galileo Galilei: A Biography and Inquiry into his Philosophy of Science,* McGraw-Hill, 1965.

KUHN, Thomas. *The Structure of Scientificc Revolutíons,* University of Chicago Press, 1971.

LAKATOS, Imre e MUSGRAVE, Alan (eds.). *Criticism and the Growth of Knowledge,* Cambridge University Press, 1979.

LLOYD, Seth. "Quantum-mechanical Computers", *Scientific American,* outubro de 1995.

LOCKWOOD, Michael . *Mind, Brain and the Quantum,* Basil Blackwell, 1989.

_____. "'Many Minds' Interpretation of Quantum Mechanics", *British journal for the Philosophy of Science,* 1996, vol. 47, nº 2.

MILLER, David (ed.). *A Pocket Popper,* Fontana, 1983.

___. *Critical Rationalism: A Restatement and Defense,* Open Court, 1994.

NAGEL, Ernst e NEWMAN, James R. *Gödel's Proof,* Routledge, 1976.

O'HEAR, Anthony. *Introduction to the Phílosophy of Scíence,* Oxford University Press, 1991.

PENROSE, Roger. *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics,* Oxford University Press, 1989.

POPPER, Karl. *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach,* Clarendon Press, 1972.

QUIRK, Randolph, GREENBAUM, Sidney; LEECH, Geoffrey e SVARTVIK, Jan. *A Comprehensive Grammar of the English Language,* 7ª edição, Longman, 1989.

SCIAMA, Dennis. *The Unity of the Universe,* Faber & Faber, 1967.

STEWART, Ian. *Does Gos Play Dice? Tbe Mathematics of Chaos,* Basil Blackwell, 1989; Penguin Books, 1990.

STOCKMEYER, *L. J.* e CHANDRA, A. K. "Intrinsically Difficult Problems", *Scientific American,* maio de 1979.

TIPLER, Frank. *The Physics of Immortality*, Doubleday, 1995.

TURING, Alan. "Computing Machinery and Intelligence", *Mínd*, outubro de 1950. [Reimpresso em *The Mínd's I*, editado por Douglas Hofstadter e Daniel C. Dennett, Harvester, 1981.]

WEINBERG, Steven. *Gravitation and Cosmology*, John Wiley, 1972.

___. *The First Three Minutes*, Basic Books, 1977.

___. *Dreams of a Final Theory*, Vintage, 1993, Random, 1994.

WHEELER, John Archibald. *A Journey into Gravity and Spacetime*, Scientific American Library, 1990.

WOLPERT, Lewis. *The Unnatural Nature of Science*, Faber & Faber, 1992, HUP, 1993.

WOOLLEY, Benjamin. *Virtual Worlds*, Basil Blackwell; Penguin Books, 1993.

Table of Contents

Prefácio
Agradecimentos
1 A Teoria de Tudo
2 Sombras
3 Solução de Problemas
4 Critérios de Realidade
5 Realidade Virtual
6 Universalidade e os Limites da Computação
7 Uma Conversa sobre Justificação (David e os Criptoindutivistas)
8 O Significado da Vida
9 Computadores Quânticos
10 A Natureza da Matemática
11 Tempo: o Primeiro Conceito Quântico
12 Viagem no Tempo
13 Os Quatro Elementos
14 Os Fins do Universo
Bibliografia