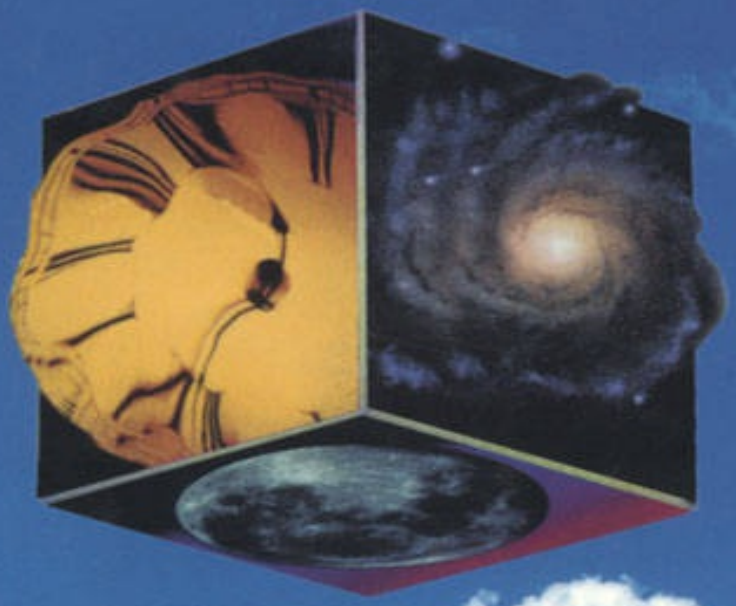
HIPERESPAÇO



UMA ODISSÉIA CIENTÍFICA ATRAVÉS DE UNIVERSOS PARALELOS, EMPENAMENTOS DO TEMPO E A DÉCIMA DIMENSÃO

ROCCO DIGITAL

MICHIO KAKU

DADOS DE COPYRIGHT

Sobre a obra:

A presente obra é disponibilizada pela equipe ***Le Livros*** e seus diversos parceiros, com o objetivo de oferecer conteúdo para uso parcial em pesquisas e estudos acadêmicos, bem como o simples teste da qualidade da obra, com o fim exclusivo de compra futura.

É expressamente proibida e totalmente repudíavel a venda, aluguel, ou quaisquer uso comercial do presente conteúdo

Sobre nós:

O ***Le Livros*** e seus parceiros disponibilizam conteúdo de dominio publico e propriedade intelectual de forma totalmente gratuita, por acreditar que o conhecimento e a educação devem ser acessíveis e livres a toda e qualquer pessoa. Você pode encontrar mais obras em nosso site: ***LeLivros.link*** ou em qualquer um dos sites parceiros apresentados neste link.

"Quando o mundo estiver unido na busca do conhecimento, e não mais lutando por dinheiro e poder, então nossa sociedade poderá enfim evoluir a um novo nível."



MICHIO KAKU

HIPERESPAÇO

Uma odisseia científica através de universos paralelos, empenamentos do tempo e a décima dimensão

Ilustrações:
ROBERT O'KEEFE

Tradução de
MARIA LUIZA X. DE A. BORGES

Revisão técnica:
WALTER MACIEL
(Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, USP)

ROCCO DIGITAL

É recomendada a leitura do e-book *Hiperespaço* com a configuração de Fonte da Editora ativada.

SUMÁRIO

Para pular o sumário, clique aqui.

Dedicatória

Prefácio

Agradecimentos

PARTE I

O ingresso na quinta dimensão

1. Mundos além do espaço e tempo

2. Matemáticos e místicos

3. O homem que “viu” a quarta dimensão

4. O segredo da luz: vibrações na quinta dimensão

PARTE II

Unificação em dez dimensões

5. Heresia quântica

6. A desforra de Einstein

7. Supercordas

8. Sinais da décima dimensão

9. Antes da Criação

PARTE III

Buracos de minhoca: passagens para outro universo?

10. Buracos negros e universos paralelos

11. Para construir uma máquina do tempo

12. Universos em colisão

PARTE IV

Senhores do hiperespaço

13. Além do futuro

14. O destino do universo

15. Conclusão

Notas

Bibliografia

Índice

Créditos

O Autor

Este livro é dedicado
a meus pais

Prefácio

As revoluções científicas, quase que por definição, contestam o senso comum.

Se todas as nossas noções de senso comum sobre o universo fossem corretas, a ciência teria decifrado os segredos do universo há milhares de anos. O propósito da ciência é remover a camada da aparência dos objetos para revelar sua natureza subjacente. De fato, se aparência e essência fossem a mesma coisa, não haveria necessidade de ciência.

Talvez a noção de senso comum mais profundamente arraigada acerca de nosso mundo seja a de que ele é tridimensional. Nem é preciso dizer que comprimento, largura e profundidade são suficientes para se descrever todos os objetos de nosso universo visível. Experimentos realizados com bebês e animais mostraram que nascemos com um senso inato de que nosso mundo é tridimensional. Se incluirmos o tempo como outra dimensão, quatro dimensões são suficientes para o registro de todos os eventos no universo. Não importa onde nossos instrumentos tenham penetrado, desde as profundezas do átomo até os mais remotos confins do aglomerado galáctico, só encontramos evidência dessas quatro dimensões. Afirmar publicamente outra coisa, sugerir que pode haver outras dimensões ou que nosso universo pode coexistir com outras, é provocar certa zombaria. No entanto, essa ideia preconcebida e profundamente arraigada sobre nosso mundo, surgida pela primeira vez das especulações dos antigos filósofos gregos dois milênios atrás, está prestes a sucumbir ao progresso da ciência.

Este livro trata de uma revolução científica criada pela *teoria do hiperespaço*,[1] que afirma a existência de dimensões além das quatro de espaço e tempo comumente aceitas. Há um crescente reconhecimento entre físicos do mundo inteiro, entre os quais vários contemplados com o prêmio Nobel, de que o universo pode realmente existir num espaço de maior número de dimensões. Se sua correção for provada, essa teoria irá criar uma profunda revolução conceitual e filosófica em nossa compreensão do universo. Nos meios científicos, a teoria do hiperespaço é conhecida como teoria Kaluza-Klein e supergravidade. Sua formulação mais avançada, porém, é chamada de teoria das supercordas, a qual chega a prever o número preciso de dimensões: dez. As três dimensões habituais do espaço (comprimento, largura e profundidade) e uma de tempo são agora acrescidas de seis outras dimensões espaciais.

Advertimos que a teoria do hiperespaço ainda não foi experimentalmente confirmada e que, de fato, seria extraordinariamente difícil prová-la em laboratório. No entanto, a teoria já empolgou os mais importantes laboratórios de física do mundo e alterou irreversivelmente a

paisagem científica da física contemporânea, gerando um assombroso número de artigos de pesquisa na literatura científica (mais de cinco mil, segundo um cálculo). No entanto, quase nada foi escrito para explicar ao público leigo as fascinantes propriedades do espaço com maior número de dimensões. Em consequência, o grande público tem apenas uma vaga ideia, se é que tem alguma, dessa revolução. De fato, as referências superficiais a outras dimensões e universos paralelos feitas na cultura popular são frequentemente enganosas. Isso é lamentável porque a importância da teoria reside em seu poder de unificar todos os fenômenos físicos conhecidos numa estrutura espantosamente simples. Este livro torna disponível, pela primeira vez, uma exposição cientificamente fundamentada, mas acessível, da fascinante pesquisa atual sobre o hiperespaço.

Para explicar por que a teoria do hiperespaço gerou tanto entusiasmo no mundo da física teórica, desenvolvi quatro temas fundamentais que atravessam todo este livro como um fio. Estes quatro temas dividem o livro em quatro partes.

Na Parte I, desenvolvo os primórdios da teoria do hiperespaço, enfatizando a ideia de que as leis da natureza se tornam mais simples e mais precisas quando expressas em maior número de dimensões.

Para compreender como o acréscimo de mais dimensões pode simplificar problemas físicos, considere o seguinte exemplo. Para os egípcios antigos, o tempo era um mistério completo. O que causava as estações? Por que a temperatura era mais alta quando viajavam para o sul? Por que os ventos sopravam geralmente numa só direção? Era impossível explicar o tempo a partir da posição dos egípcios antigos, para os quais a Terra parecia ser chata, como um plano bidimensional. Mas agora imagine enviar os egípcios num foguete para o espaço exterior, onde possam ver a Terra em sua simplicidade e inteireza em sua órbita em torno do Sol. De repente, as respostas para essas perguntas se tornam óbvias.

A partir do espaço cósmico, é evidente que o eixo da Terra está inclinado cerca de 23 graus da vertical (a "vertical" sendo a perpendicular ao plano da órbita da Terra em torno do Sol). Por causa dessa inclinação, o hemisfério norte recebe muito menos luz solar durante uma parte de sua órbita que durante outra parte. Por isso temos inverno e verão. E como o equador recebe mais luz solar que as regiões polares norte e sul, a temperatura se eleva à medida que nos aproximamos do equador. Da mesma maneira, como a Terra gira no sentido anti-horário para alguém postado no polo norte, o frio ar polar dá uma guinada ao se mover rumo ao sul em direção ao equador. O movimento das massas de ar quentes e frias, desencadeado pela rotação da Terra, ajuda assim a explicar por que os ventos sopram geralmente numa só direção, dependendo de onde você esteja na Terra.

Resumindo, as leis um tanto obscuras que regem o tempo são de fácil compreensão desde que vejamos a Terra a partir do espaço. A solução para os problemas consiste portanto em *subir* no espaço, rumo à *terceira dimensão*. Fatos que são impossíveis de compreender num mundo plano tornam-se subitamente óbvios quando se vê uma Terra tridimensional.

De maneira análoga, as leis da gravidade e da luz parecem totalmente dessemelhantes. Elas obedecem a pressupostos físicos e a matemáticas diferentes. As tentativas de reunir essas duas forças sempre fracassaram. No entanto, se acrescentamos uma dimensão a mais, uma *quinta* dimensão, às quatro dimensões anteriores de espaço e tempo, as equações que governam a luz e a gravidade parecem se encaixar como duas peças de um quebra-cabeça. De fato, a luz pode ser explicada como vibrações na quinta dimensão. Dessa forma, vemos que as leis da luz e da gravidade se tornam mais simples em cinco dimensões.

Consequentemente, muitos físicos estão agora convencidos de que uma teoria quadridimensional convencional é "pequena demais" para descrever adequadamente as forças que comandam nosso universo. Numa teoria quadridimensional, os físicos têm de espremer as forças da natureza de uma maneira desajeitada, artificial. Além disso, essa teoria híbrida é incorreta. Quando nos expressamos em mais do que quatro dimensões, no entanto, temos "espaço bastante" para explicar as forças fundamentais de uma maneira elegante, independente.

Na Parte II, elaboramos mais essa ideia simples, enfatizando que a teoria do hiperespaço pode ser capaz de unificar todas as leis da natureza conhecidas numa única teoria. Assim, a teoria do hiperespaço pode vir a ser a realização que coroará dois milênios de investigação científica: a unificação de todas as forças físicas conhecidas. Ela pode nos dar o Santo Graal da física, a "teoria de tudo" que escapou a Einstein por tantas décadas.

No último meio século, os cientistas deram tratos à bola para entender por que as forças básicas que mantêm o cosmo coeso – gravidade, eletromagnetismo e as forças nucleares forte e fraca – diferem tanto. Tentativas feitas pelos mais extraordinários cérebros do século XX para fornecer um quadro unificador de todas as forças conhecidas falharam. A teoria do hiperespaço, contudo, abre a possibilidade de se explicar as quatro forças da natureza, bem como o conjunto aparentemente aleatório das partículas subatômicas de uma maneira verdadeiramente precisa. Na teoria do hiperespaço, a "matéria" também pode ser vista como as vibrações que se encrespam através do tecido do espaço e tempo. Disto se segue a fascinante possibilidade de que tudo que vemos à nossa volta, das árvores e montanhas às próprias estrelas, nada mais sejam que *vibrações no hiperespaço*. Se for verdade, isso nos dá um meio preciso, simples e geométrico de fornecer uma descrição coerente e incontestável de

todo o universo.

Na Parte III, exploramos a possibilidade de que, sob circunstâncias extremas, o espaço possa ser esticado até se rasgar ou romper. Em outras palavras, o hiperespaço pode fornecer um meio de cavar um túnel através do espaço e tempo. Embora enfatizemos que isto ainda é extremamente especulativo, os físicos estão analisando seriamente as propriedades dos "buracos de minhoca", de túneis que ligam partes distantes do espaço e tempo. Físicos que trabalham no California Institute of Technology, por exemplo, propuseram a possibilidade de se construir uma máquina do tempo que consistiria em um buraco de minhoca que conectaria o passado com o futuro. Hoje as máquinas do tempo já deixaram o reino da especulação e da fantasia e se tornaram campos legítimos de pesquisa científica.

Cosmólogos chegaram mesmo a propor a possibilidade sensacional de que nosso universo seja apenas um em meio a um número infinito de universos paralelos. Esses universos poderiam ser comparados a um vasto conjunto de bolhas de sabão suspensas no ar. Normalmente, o contato entre esses universos-bolha é impossível, mas, analisando as equações de Einstein, cosmólogos mostraram que poderia existir uma rede de buracos de minhoca, ou tubos, que conectariam esses universos paralelos. Em cada bolha, podemos definir nosso próprio espaço e tempo distintivos, que só têm sentido em sua superfície; fora dessas bolhas, espaço e tempo não têm sentido algum.

Embora muitas consequências dessa discussão sejam puramente teóricas, a viagem no hiperespaço pode acabar por propiciar a mais prática de todas as aplicações: salvar vida inteligente, inclusive a nossa, da morte do universo. Os cientistas estão universalmente convencidos de que o universo terminará por morrer, e com ele toda a vida que evolveu ao longo de bilhões de anos. Por exemplo, segundo a teoria prevalecente, chamada *Big Bang*, uma explosão cósmica ocorrida de 15 bilhões a 20 bilhões de anos atrás fez o universo se expandir, arremessando estrelas e galáxias para longe de nós com grandes velocidades.

No entanto, se um dia o universo parar de se expandir e começar a se contrair, ele acabará sucumbindo num cataclismo abrasador, chamado o *Big Crunch*, ou grande esmigalhamento, em que toda vida inteligente será vaporizada por fantástico calor. Alguns físicos, contudo, conjeturaram que a teoria do hiperespaço talvez forneça a única esperança possível de um refúgio para a vida inteligente. Nos últimos segundos da morte de nosso universo, a vida inteligente poderia escapar ao colapso fugindo para o hiperespaço.

Na Parte IV, concluímos com uma questão prática, final: se a teoria do hiperespaço se provar correta, quando seremos capazes de utilizar sua força? Esta não é uma questão meramente acadêmica, porque, no passado, a utilização de apenas uma das quatro forças

fundamentais transformou irreversivelmente o curso da história humana, alçando-nos da ignorância e da miséria das antigas sociedades pré-industrializadas para a civilização moderna. Em certo sentido, até o vasto percurso da história humana pode ser visto sob uma nova luz, em termos do progressivo domínio de cada uma das quatro forças. A história da civilização sofreu uma profunda mudança à medida que cada uma dessas forças foi descoberta e controlada.

Por exemplo, ao formular as leis clássicas da gravidade, Isaac Newton desenvolveu a teoria da mecânica, que nos deu as leis que governam as máquinas. Isso, por sua vez, acelerou enormemente a Revolução Industrial, que desencadeou forças políticas que acabaram por derrubar as dinastias feudais da Europa. Em meados da década de 1860, quando formulou as leis fundamentais da força eletromagnética, James Clerk Maxwell inaugurou a Idade Elétrica, que nos deu o dínamo, o rádio, a televisão, o radar, os aparelhos eletrodomésticos, o telefone, o forno de micro-ondas, aparelhos de som e videocassete, o computador eletrônico, os *lasers* e muitas outras maravilhas eletrônicas. Sem a compreensão e a utilização da força eletromagnética, a civilização teria estagnado, congelada num tempo anterior ao da descoberta da lâmpada e do motor elétrico. Em meados da década de 1940, quando a força nuclear foi utilizada, o mundo virou mais uma vez de cabeça para baixo com o desenvolvimento das bombas atômica e de hidrogênio, as mais destrutivas armas sobre o planeta. Como não estamos no limiar de uma compreensão unificada de todas as forças cósmicas que governam o universo, podemos prever que qualquer civilização que domine a teoria do hiperespaço se tornará senhora do universo.

Como a teoria do hiperespaço é um corpo bem definido de equações matemáticas, podemos calcular com precisão a energia necessária para torcer o espaço e o tempo num nó ou para criar buracos de minhoca ligando partes distantes de nosso universo. Infelizmente, os resultados são decepcionantes. A energia requerida excede em muito tudo que nosso planeta pode reunir. De fato, a energia é um quatrilhão de vezes maior que a energia de nossos maiores aceleradores de partículas. Teremos de esperar séculos ou mesmo milênios até que nossa civilização desenvolva a competência técnica para manipular o espaço-tempo, ou depositar nossas esperanças num contato com uma civilização avançada que já tenha dominado o hiperespaço. O livro termina, portanto, explorando a questão científica intrigante mas especulativa de qual seria o nível de tecnologia necessário para que pudéssemos nos tornar senhores do hiperespaço.

Como a teoria do hiperespaço nos leva para muito além das concepções normais, de senso comum, do espaço e tempo, espalhei por todo o texto algumas histórias puramente hipotéticas.

Fui inspirado a utilizar essa técnica pedagógica pela preleção do ganhador do prêmio Nobel Isidor I. Rabi diante de uma plateia de físicos. Ele lamentou o estado calamitoso da educação científica nos Estados Unidos e repreendeu a comunidade dos físicos por negligenciar seu dever na popularização da aventura da ciência para o grande público e especialmente para os jovens. Na verdade, ele advertiu, os escritores de ficção científica haviam feito mais para comunicar o romance da ciência que todos os físicos somados.

Num livro anterior, *Beyond Einstein: The Cosmic Quest for the Theory of the Universe* (em coautoria com Jennifer Trainer), investiguei a teoria das supercordas, descrevi a natureza das partículas subatômicas e discuti detidamente o *universo visível* e como todas as complexidades da matéria poderiam ser explicadas por minúsculas cordas vibrantes. Neste livro, expandi-me sobre um tema diferente e explorei o *universo invisível* – isto é, o mundo da geometria e do espaço-tempo. O foco deste livro não é a natureza das partículas subatômicas, mas o mundo multidimensional em que elas provavelmente vivem. No processo, os leitores verão que o espaço multidimensional, longe de ser um pano de fundo passivo e vazio contra o qual os quarks desempenham seus eternos papéis, torna-se realmente o ator central no drama da natureza.

Ao discutir a fascinante história da teoria do hiperespaço, veremos que a busca da natureza última da matéria, iniciada pelos gregos há dois milênios, foi longa e tortuosa. Quando o capítulo final dessa longa saga for escrito por futuros historiadores da ciência, eles poderão sem dúvida registrar que o avanço decisivo foi a derrota das teorias de três ou quatro dimensões fundamentadas no senso comum e a vitória da teoria do hiperespaço.

M.K.

Nova York

Maio de 1993

Agradecimentos

Ao escrever este livro, tive a sorte de ter Jeffrey Robbins como meu editor. Ele foi o editor que guiou habilidosamente o progresso de três de meus manuais anteriores sobre física teórica escritos para a comunidade científica, versando sobre a teoria unificada de campo, a teoria das supercordas e a teoria de campo quântica. Este livro, no entanto, constitui a primeira obra de divulgação científica, destinado ao público em geral, que escrevi para ele. Foi sempre um raro privilégio trabalhar em estreita ligação com ele.

Gostaria também de agradecer a Jennifer Trainer, que foi minha coautora em dois livros de divulgação científica anteriores. Mais uma vez, ela utilizou seus consideráveis talentos para tornar a apresentação tão agradável e coerente quanto possível.

Sou grato também a várias outras pessoas que criticaram os primeiros rascunhos deste livro e ajudaram a solidificá-los: Burt Solomon, Leslie Meredith, Eugene Mallove e meu agente Stuart Krichevsky.

Por fim, gostaria de agradecer ao Institute for Advanced Study de Princeton, onde grande parte deste livro foi escrita, por sua hospitalidade. O instituto, onde Einstein passou as últimas décadas de sua vida, foi um lugar apropriado para escrever sobre os desenvolvimentos revolucionários que ampliaram e embelezaram muito de seu trabalho pioneiro.

PARTE I

O ingresso na quinta dimensão

Mas o princípio criativo reside na matemática. Num certo sentido, portanto, considero verdade que o puro pensamento é capaz de apreender a realidade, como sonhavam os antigos.

Albert Einstein

1

Mundos além do espaço e tempo

Quero saber como Deus criou este mundo. Não estou interessado nesse ou naquele fenômeno. Quero saber Seus pensamentos, o resto são detalhes.

Albert Einstein

A FORMAÇÃO DE UM FÍSICO

Dois episódios da minha infância enriqueceram enormemente minha compreensão do mundo e me puseram no caminho que faria de mim um físico teórico.

Lembro que meus pais levavam-me às vezes para visitar o famoso Jardim do Chá japonês em San Francisco. Uma das minhas lembranças mais felizes da infância é a de ficar agachado junto ao laguinho, mesmerizado pelas carpas de colorido brilhante que nadavam lentamente por sob os nenúfares.

Naqueles momentos tranquilos, sentia-me livre para deixar minha imaginação vagar; podia fazer a mim mesmo perguntas bobas que só poderiam ocorrer a uma criança, como: de que modo as carpas naquele laguinho viam o mundo à sua volta? E eu pensava, que mundo estranho deve ser o delas!

Vivendo suas vidas inteiras naquele tanque raso, as carpas deviam acreditar que seu "universo" consistia em água turva e nenúfares. Passando a maior parte de seu tempo à procura de alimento no fundo do tanque, elas mal deviam ter noção de que poderia existir um mundo estranho acima da superfície. A natureza do meu mundo estava acima da sua compreensão. Eu ficava intrigado por poder me postar a apenas poucos centímetros das carpas, e estar contudo separado delas por um imenso abismo. As carpas e eu vivíamos nossas vidas em dois universos distintos, sem nunca penetrarmos o mundo um do outro, e no entanto separados apenas pela mais fina das barreiras, a superfície da água.

Certa vez imaginei que podia haver carpas "cientistas" vivendo entre os peixes. Provavelmente, pensei, elas zombariam de qualquer peixe que sugerisse a possível existência de um mundo paralelo logo acima dos nenúfares. Para uma carpa "cientista", as únicas coisas reais eram as que o peixe podia ver ou tocar. O tanque era tudo. Um mundo invisível além do tanque não fazia nenhum sentido científico.

Uma vez uma tempestade me pegou. Notei que a superfície do tanque foi bombardeada por milhares de minúsculas gotas de chuva. Ela se tornou turbulenta, e ondas passaram a empurrar os nenúfares em todas as direções. Abrigando-me contra o vento e a chuva, pensei como tudo

aquilo seria visto pelas carpas. Para elas, os nenúfares pareceriam estar se movendo de um lado para outro por si mesmos, sem que nada os empurrasse. Como a água dentro da qual viviam deveria parecer invisível, tal como o ar e o espaço à nossa volta, elas deveriam ficar por entender como os nenúfares podiam se mover de um lado para outro por si mesmos.

Seus "cientistas", eu imaginava, iriam urdir um engenhoso invento chamado "força" para ocultar sua ignorância. Incapazes de compreender que podia haver ondas na superfície invisível, iriam concluir que os nenúfares eram capazes de se mover sem ser tocados porque uma entidade invisível e misteriosa chamada força agia entre eles. Poderiam dar a essa ilusão nomes impressionantes, pomposos (tal como ação a distância, ou a capacidade que têm os nenúfares de se mover sem que nada os toque).

Uma vez imaginei o que aconteceria se eu esticasse o braço e tirasse uma das carpas "cientistas" de dentro do tanque. Antes que eu a jogasse de novo na água, ela poderia se debater furiosamente enquanto eu a examinasse. Pensei como isso apareceria aos olhos do resto das carpas. Para elas, seria um evento verdadeiramente desnorteante. Iriam notar em primeiro lugar que um de seus "cientistas" desaparecera de seu universo. Simplesmente desaparecera, sem deixar vestígio. Onde quer que buscassem não haveria um sinal da carpa desaparecida em seu universo. Depois, segundos mais tarde, quando eu a jogasse de volta no tanque, o "cientista" iria ressurgir abruptamente do nada. Para as outras carpas, pareceria que um milagre acontecera.

Depois de se recobrar do pânico, o "cientista" iria contar uma história verdadeiramente assombrosa. "Sem mais aquela", ele diria, "fui erguido de alguma maneira para fora do universo (o tanque) e lançado num outro mundo misterioso, com luzes cegantes e objetos estranhamente bem delineados que eu nunca vira antes. O mais estranho de tudo era a criatura que me aprisionou e que não tinha a menor semelhança com um peixe. Fiquei chocado ao ver que ela não tinha nem sombra de barbatanas, mas, apesar disso, era capaz de se mover. Ocorreu-me então que as leis da natureza com as quais estava familiarizado não se aplicavam nesse mundo. Depois, de maneira igualmente repentina, vi-me lançado de volta no nosso universo." (Evidentemente, esta história de uma viagem além do universo pareceria tão fantástica que a maioria das carpas a rejeitaria como pura lorota.)

Frequentemente penso que somos como as carpas que nadam satisfeitas naquele tanque. Vivemos nossas vidas inteiras em nosso próprio "tanque", certos de que nosso universo consiste apenas naquelas coisas que podemos ver ou tocar. Como o das carpas, nosso universo consiste unicamente no conhecido e no visível. Presunçosamente, recusamo-nos a admitir que, ao lado do nosso universo, possam existir universos ou dimensões paralelos, simplesmente

fora de nosso alcance. Se nossos cientistas inventam conceitos como os de forças, é apenas porque não são capazes de visualizar as vibrações invisíveis que enchem o espaço vazio à nossa volta. Alguns cientistas sorriem zombeteiramente à menção de um maior número de dimensões porque elas não podem ser convenientemente medidas em laboratório.

Desde essa época, sempre fui fascinado pela possibilidade de outras dimensões. Como a maioria das crianças, devorei histórias de aventura cujos heróis viajavam no tempo, penetravam em outras dimensões e exploravam universos paralelos invisíveis, onde as leis comuns da física estavam convenientemente suspensas. Cresci cismando se os navios que se perdiam no Triângulo das Bermudas sumiam num buraco no espaço; fiquei maravilhado com a trilogia *Fundação* de Isaac Asimov, em que a descoberta da viagem hiperespacial dava lugar ao surgimento de um Império Galáctico.

Um segundo episódio de minha infância deixou também em mim uma profunda e duradoura impressão. Quando eu tinha oito anos, ouvi uma história que me acompanharia pelo resto de minha vida. Lembro de meus professores falando para a turma sobre um grande cientista que acabara de morrer. Falaram sobre ele com grande reverência, qualificando-o de um dos maiores cientistas de toda a história. Disseram que muito poucas pessoas eram capazes de compreender suas ideias, mas que suas descobertas tinham transformado todo o mundo e tudo que havia à nossa volta. Não entendi muita coisa do que estavam tentando nos dizer, mas o que mais me intrigou acerca daquele homem foi o fato de que morrera antes de poder completar sua descoberta mais impressionante. Disseram que ele havia dedicado anos a essa teoria, mas morreu com seus textos inacabados ainda pousados sobre sua escrivaninha.

Fiquei fascinado pela história. Para uma criança, aquilo era um imenso mistério. Que trabalho inacabado era aquele? Que havia naqueles papéis sobre a sua mesa? Que problema podia ser tão difícil e tão importante para que tão notável cientista dedicasse anos de sua vida a investigá-lo? Curioso, decidi aprender tudo que pudesse sobre Albert Einstein e sua teoria inacabada. Ainda tenho vívidas lembranças de passar muitas horas sossegadas lendo todo livro que conseguia encontrar sobre aquele grande homem e suas teorias. Quando esgotei os livros de nossa biblioteca local, comecei a vasculhar bibliotecas e livrarias pela cidade toda, buscando avidamente novas pistas. Logo aprendi que aquela história era muito mais empolgante que qualquer história de detetive e mais importante que qualquer coisa que eu jamais pudesse imaginar. Decidi que tentaria chegar à raiz daquele mistério, ainda que, para isso, tivesse de me tornar um físico teórico.

Logo me inteirei de que os textos inacabados sobre a escrivaninha de Einstein eram uma tentativa de construir o que ele chamava de teoria unificada de campo, uma teoria que poderia

explicar todas as leis da natureza, do mais minúsculo átomo à maior das galáxias. No entanto, sendo ainda criança, não compreendi que talvez houvesse um vínculo entre a carpa que nadava no Jardim do Chá e os textos inacabados sobre a escrivaninha de Einstein. Não compreendi que as dimensões múltiplas poderiam ser a chave para a solução da teoria unificada de campo.

Mais tarde, no colegial, esgotei a maior parte das bibliotecas locais e visitei muitas vezes a biblioteca de física da Universidade de Stanford. Ali, vim a me dar conta de que o trabalho de Einstein tornava possível uma nova substância chamada antimatéria, a qual agiria como a matéria comum mas, ao contato com a matéria, se destruiria numa explosão de energia. Li também que cientistas haviam construído grandes máquinas, ou aceleradores de partículas, que eram capazes de produzir quantidades microscópicas dessa exótica substância em laboratório.

Uma vantagem da juventude é que ela não se deixa dissuadir por empecilhos mundanos que normalmente pareceriam insuperáveis para a maioria dos adultos. Sem avaliar os obstáculos envolvidos, pus-me a construir meu próprio acelerador de partículas. Estudei a literatura científica até me convencer de que podia construir o então chamado betatron, que seria capaz de elevar a energia de elétrons a milhões de elétrons-volt. (Um milhão de elétrons-volt é a energia que atinge elétrons acelerados por um campo de um milhão de volts.)

Antes de mais nada, comprei uma pequena quantidade de sódio 22, substância que é radioativa e naturalmente emite pósitrons (a antimatéria correspondente ao elétron). Depois construí uma câmara de Wilson, que torna visíveis as pistas deixadas por partículas subatômicas. Consegui fazer centenas de lindas fotografias de traços deixados por antimatéria. Em seguida, fiz uma busca pelos grandes depósitos de material eletrônico da área, reuni a aparelhagem necessária, inclusive centenas de quilos de restos de aço de transformadores, e construí na minha garagem um betatron de 2,3 milhões de elétrons-volt que seria potente o bastante para produzir um feixe de antielétrons. Para construir os monstruosos ímãs necessários para o betatron, convenci meus pais a me ajudar a enrolar 35 quilômetros de fio de cobre no campo de futebol da escola. Passamos o feriado de Natal na linha de 45 metros, enrolando e juntando os pesados rolos que iriam curvar as trajetórias dos elétrons de alta energia.

Quando finalmente construído, o betatron de 136 quilos e seis quilowatts consumia absolutamente toda a energia que a minha casa gerava. Quando eu o ligava, geralmente queimava todos os fusíveis, e a casa ficava às escuras de repente. Com a casa mergulhada periodicamente na escuridão, minha mãe muitas vezes sacudia a cabeça. (Imagino que ela provavelmente pensava por que não podia ter um filho que jogasse beisebol ou basquete, em

vez de construir aquelas imensas máquinas elétricas na garagem.) Fiquei encantado ao ver que a máquina produziu com sucesso um campo magnético 20 mil vezes mais intenso que o da Terra, que é o necessário para acelerar um feixe de elétrons.

O CONFRONTO COM A QUINTA DIMENSÃO

Como minha família era pobre, meus pais estavam preocupados com a possibilidade de eu não poder continuar meus experimentos e minha educação formal. Felizmente, os prêmios que ganhei por meus vários projetos científicos chamaram a atenção do cientista atômico Edward Teller. Sua esposa providenciou para que eu recebesse uma bolsa para quatro anos de estudos em Harvard, permitindo-me realizar meu sonho.

Ironicamente, embora eu tenha iniciado meu aprendizado formal de física teórica em Harvard, foi também ali que meu interesse por dimensões mais elevadas foi gradualmente morrendo. Como outros físicos, iniciei um rigoroso e exaustivo programa de estudos da matemática superior de cada uma das forças da natureza separadamente, em completo isolamento uma da outra. Ainda me lembro de resolver um problema de eletrodinâmica para meu instrutor e em seguida lhe perguntar como ficaria a solução se o espaço fosse curvo numa dimensão mais elevada. Ele me lançou um olhar estranho, como se eu fosse meio biruta. Como outros antes de mim, logo aprendi a pôr de lado minhas noções anteriores, infantis, sobre espaço multidimensional. Hiperespaço, disseram-me, não era matéria adequada para estudo sério.

Nunca fiquei satisfeito com essa abordagem desconexa à física e, muitas vezes, meus pensamentos eram transportados de volta para a carpa que vivia no Jardim do Chá. As equações que usávamos para eletricidade e magnetismo, descobertas por Maxwell no século XIX, embora funcionassem surpreendentemente bem, pareciam bastante arbitrárias. Eu sentia que os físicos (como a carpa) inventavam aquelas "forças" para esconder nossa ignorância sobre como objetos podem mover uns aos outros sem se tocar.

Em meus estudos, aprendi que um dos grandes debates do século XIX girara em torno do modo como a luz se propaga através de um vácuo. (A luz emanada das estrelas, de fato, pode se propagar sem esforço por trilhões e trilhões de quilômetros através do vácuo do espaço cósmico.) Além disso, experimentos mostraram conclusivamente que a luz é uma onda. Mas, se a luz é uma onda, ela exigiria que algo estivesse "ondulando". Ondas de som requerem ar, ondas de água requerem água, mas como não há nada para ondular num vácuo, temos um paradoxo. Como pode a luz ser uma onda se não há nada para ondular? Assim, os físicos

invocaram uma substância chamada éter, que encheria o vácuo e atuaria como o meio para a luz. No entanto, experimentos mostraram conclusivamente que o "éter" não existe.[a]

Finalmente, quando me tornei um estudante de pós-graduação em física na Universidade da Califórnia em Berkeley, aprendi quase por acaso que havia uma explicação alternativa, embora controversa, para a propagação da luz através de um vácuo. Essa teoria alternativa era tão esquisita que fiquei bastante chocado ao topar com ela. Foi um choque semelhante ao experimentado por muitos americanos ao ter a notícia de que o presidente John Kennedy fora baleado. Eles são invariavelmente capazes de lembrar o momento preciso em que ouviram a notícia estarrecedora, o que estavam fazendo e com quem estavam conversando naquele instante. Também nós, os físicos, experimentamos um choque considerável quando topamos pela primeira vez com a teoria Kaluza-Klein. Como era considerada uma especulação desenfreada, ela nunca era ensinada no curso de graduação; assim restava aos jovens físicos descobri-la de maneira bastante acidental no curso de suas leituras aleatórias.

Essa teoria alternativa fornecia a mais simples explicação da luz: que ela era realmente uma vibração da quinta dimensão, ou do que os místicos costumam chamar de a quarta dimensão. Se a luz podia se propagar através de um vácuo, isso se dava porque o próprio vácuo estava vibrando, porque o "vácuo" realmente existia em quatro dimensões de espaço e uma de tempo. Com o acréscimo da quinta dimensão, a força da gravidade e a luz podiam ser unificadas de uma maneira surpreendentemente simples. Voltando os olhos para minhas experiências de infância no Jardim do Chá, compreendi subitamente que essa era a teoria matemática que eu vinha buscando.

A velha teoria Kaluza-Klein, contudo, encerrava muitos problemas técnicos difíceis que a tornaram inútil por mais de meio século. Tudo isto, porém, se modificou na última década. Versões mais avançadas da teoria, como a teoria da supergravidade e especialmente a teoria das supercordas, finalmente eliminaram as incoerências que nela existiam. De maneira bastante abrupta, a teoria de maior número de dimensões está sendo agora defendida em laboratórios de pesquisa do mundo todo. Muitos dos mais destacados físicos do mundo acreditam agora que poderia haver dimensões além das quatro habituais de espaço e tempo. Essa ideia, de fato, tornou-se o ponto focal de intensa investigação científica. Na verdade, muitos físicos teóricos acreditam agora que um maior número de dimensões pode ser o passo decisivo na criação de uma teoria abrangente que una as leis da natureza – a teoria do hiperespaço.

Se isto se provar correto, futuros historiadores da ciência poderão sem dúvida registrar que uma das grandes revoluções conceituais da ciência no século XX foi a compreensão de

que o hiperespaço pode ser a chave que permitirá desvendar os segredos mais profundos da natureza e da própria Criação.

Esse conceito seminal desencadeou uma avalancha de pesquisas científicas. Vários milhares de artigos da autoria de físicos teóricos que trabalham nos mais importantes laboratórios de pesquisa no mundo todo foram dedicados à exploração das propriedades do hiperespaço. As páginas de *Nuclear Physics* e *Physics Letters*, das principais revistas científicas da área, foram inundadas com artigos analisando a teoria. Mais de duzentas conferências internacionais de física foram promovidas para explorar as consequências de um maior número de dimensões.

Lamentavelmente, ainda estamos longe de verificar experimentalmente que nosso universo existe em dimensões múltiplas. (O que, precisamente, seria necessário para provar a correção da teoria e possivelmente utilizar a força do hiperespaço será discutido adiante neste livro.) No entanto, essa teoria já está a esta altura firmemente estabelecida como um ramo legítimo da física teórica contemporânea. O Institute for Advanced Study em Princeton, por exemplo, onde Einstein passou as últimas décadas de sua vida (e onde este livro foi escrito), é hoje um dos centros ativos de pesquisa sobre o espaço-tempo multidimensional.

Steven Weinberg, contemplado com o prêmio Nobel de Física em 1979, sintetizou essa revolução conceitual ao comentar recentemente que a física teórica parece estar se tornando cada vez mais parecida com a ficção científica.

POR QUE NÃO PODEMOS VER OUTRAS DIMENSÕES?

Essas ideias revolucionárias parecem estranhas de início porque estamos convencidos de que nosso mundo cotidiano tem três dimensões. Como observou o falecido físico Heinz Pagels, "Uma característica de nosso mundo físico é tão óbvia que a maioria das pessoas não fica sequer intrigada com ela – o fato de o espaço ser tridimensional".[1] Quase que por mero instinto, sabemos que se pode descrever qualquer objeto dando sua altura, largura e profundidade. Fornecendo três números, podemos situar qualquer posição no espaço. Se queremos nos encontrar com alguém para um almoço em Nova York, dizemos, "Encontre-me no vigésimo quarto andar do edifício que fica na esquina da rua Quarenta e Dois com a Primeira Avenida". Dois números nos fornecem a esquina; e o terceiro, a altura em relação ao solo.

Da mesma maneira, os pilotos de avião sabem exatamente onde estão com três números – sua altitude e duas coordenadas que situam sua posição numa grade ou mapa. De fato, a

especificação desses três números permite identificar com precisão qualquer lugar no nosso mundo, da ponta do nosso nariz aos limites do universo visível. Até bebês entendem isso: testes com crianças mostraram que eles engatinham até a borda de um penhasco, dão uma olhada para baixo e engatinham de volta. Além de "direita" e "esquerda" e "para frente" e "para trás", os bebês têm uma compreensão instintiva de "para cima" e "para baixo". Assim, o conceito intuitivo de três dimensões está firmemente incrustado nos nossos cérebros desde tenra idade.

Einstein ampliou esse conceito para incluir o tempo como a quarta dimensão. Por exemplo, para encontrar alguém para um almoço, devemos especificar que o encontro deve ocorrer, digamos, às 12:30h em Manhattan; isto é, para especificar um evento, precisamos também descrever sua quarta dimensão, a *hora* em que o evento ocorre.

Atualmente os cientistas estão interessados em ir além do conceito de quarta dimensão de Einstein. O interesse científico atual centra-se na quinta dimensão (a dimensão espacial além do tempo e das três dimensões do espaço) e outras mais. (Para evitar confusão, ao longo de todo este livro curvei-me ao costume e me referi à dimensão *espacial* adicional à altura, profundidade e largura como a quarta dimensão. Na verdade os físicos se referem a isso como a quinta dimensão, mas vou seguir o precedente histórico. Chamaremos o tempo de a quarta dimensão *temporal*.)

Como vemos a quarta dimensão espacial?

Esse é o problema – não a podemos ver. Não é possível visualizar espaços com maior número de dimensões; é inútil até tentar. O preeminente físico alemão Hermann von Helmholtz comparou a incapacidade de se "ver" a quarta dimensão com a incapacidade de um cego de conceber a ideia de cor. Por mais eloquente que seja nossa descrição de "vermelho" para um cego, as palavras não conseguirão comunicar um significado tão rico quanto o de cor. Mesmo matemáticos experientes e físicos teóricos que trabalharam com espaços multidimensionais durante anos admitem que não são capazes de visualizá-los. O que fazem é se refugiar no mundo das equações matemáticas. Mas enquanto matemáticos, físicos e computadores não têm problema para resolver equações no espaço multidimensional, os seres humanos consideram impossível visualizar universos além do que lhes é próprio.

Na melhor das hipóteses, podemos usar uma variedade de truques matemáticos, inventados pelo matemático e místico Charles Hinton na virada do século para visualizar sombras de objetos multidimensionais. Outros matemáticos, como Thomas Banchoff, chefe do departamento de matemática na Brown University, desenvolveram programas de computador que nos permitem manipular objetos com maior número de dimensões mediante a projeção de

sua sombra em telas planas e bidimensionais de computador. Como na concepção do filósofo grego Platão, segundo a qual somos como os habitantes de cavernas, condenados a ver apenas as sombras vagas e cinzentas da rica vida que existe fora delas, os computadores de Banchoff permitem apenas um vislumbre das sombras de objetos com mais dimensões. (Na verdade, não podemos visualizar mais dimensões por causa de um acidente evolutivo. Nossos cérebros evoluíram para manipular um sem-número de emergências em três dimensões. Instantaneamente, sem parar para pensar, podemos reconhecer e reagir ao salto de um leão ou à investida de um elefante. De fato, os seres humanos mais capazes de visualizar como os objetos se movem, giram e se torcem em três dimensões tinham uma clara vantagem em termos de sobrevivência sobre os menos capazes. Infelizmente, o homem não se viu sob nenhuma pressão seletiva para dominar o movimento em quatro dimensões espaciais. A capacidade de ver a quarta dimensão certamente não ajudava alguém a rechaçar o ataque de um maquerodonte. Leões e tigres não nos atacam através da quarta dimensão.)

AS LEIS NA NATUREZA SÃO MAIS SIMPLES EM DIMENSÕES MÚLTIPLAS

Um físico que adora provocar as pessoas com relação às propriedades de universos multidimensionais é Peter Freund, professor de física teórica no renomado Enrico Fermi Institute da Universidade de Chicago. Freund foi um dos pioneiros no trabalho com teorias do hiperespaço, quando isso era considerado estranho demais para ser incorporado à física prevalecente. Durante anos, Freund e um pequeno grupo de cientistas se aventuraram isoladamente na ciência de dimensões múltiplas; agora, contudo, ela finalmente está na moda e se tornou um ramo legítimo de pesquisa científica. Para seu deleite, Freund constata que seu interesse precoce está finalmente dando bons resultados.

Freund não se encaixa na imagem tradicional do cientista intolerante, rabugento e desgrenhado. Ao contrário, é refinado, articulado e culto e, com seu sorriso malicioso, travesso, cativa os não cientistas com histórias fascinantes de descobertas científicas repentinas. Ele se sentia igualmente à vontade rabiscando num quadro-negro apinhado de equações ou trocando amenidades num coquetel. Falando com carregado sotaque romeno, Freund tem uma rara habilidade para explicar os mais misteriosos e retorcidos conceitos da física num estilo vívido, atraente.

Tradicionalmente, Freund nos lembra, os cientistas encararam dimensões adicionais com ceticismo porque elas não podiam ser medidas e não possuíam nenhum uso específico. No entanto, entre os cientistas de hoje amplia-se a compreensão de que qualquer teoria

tridimensional é “pequena demais” para descrever as forças que governam nosso universo.

Como Freund enfatiza, um tema fundamental que atravessou a física da última década foi que as leis da natureza se tornam mais simples e precisas quando expressas em dimensões múltiplas, que são o seu lar natural. As leis da luz e da gravidade encontram uma expressão natural quando expressas em espaço-tempo multidimensional. O passo decisivo na unificação das leis da natureza é aumentar o número de dimensões de espaço-tempo até que mais e mais forças possam ser acomodadas. Em um maior número de dimensões, temos “espaço” bastante para unificar todas as forças físicas conhecidas.

Ao explicar por que dimensões adicionais estão alvoroçando a imaginação do mundo científico, Freund usa a seguinte analogia: “Pense, por um instante, num guepardo, um animal bonito, liso, um dos mais velozes da Terra, que perambula livremente nas savanas da África. Em seu habitat natural, é um animal magnífico, quase uma obra de arte, não superado em velocidade ou graça por nenhum outro animal. Agora”, ele continua

> pense num guepardo que foi capturado e jogado numa mísera jaula num zoológico. Ele perdeu sua graça e sua beleza originais e é exibido para nossa diversão. Vemos na jaula apenas o espírito alquebrado do guepardo, não sua força e elegância originais. O guepardo pode ser comparado às leis da física, que são belas em seu cenário natural. O habitat natural das leis da física é o espaço-tempo multidimensional. No entanto, só podemos medir as leis da física depois de quebradas e postas em exibição numa jaula, que é nosso laboratório tridimensional. Só vemos o guepardo quando desvestido de sua graça e beleza.[2]

Durantes décadas, os físicos indagaram por que as quatro forças da natureza parecem tão fragmentadas – por que o “guepardo” parece tão deplorável e alquebrado na sua jaula. A razão fundamental para que essas forças pareçam tão dissimilares, Freund observa, é que temos observado o “guepardo enjaulado”. Nossos laboratórios tridimensionais são jaulas estéreis de jardim zoológico para as leis da física. Mas quando formulamos as leis em espaço-tempo multidimensional, seu habitat natural, vemos seu verdadeiro esplendor e poder; as leis se tornam simples e poderosas. A revolução que hoje conquista a física é a compreensão de que o lar natural do guepardo pode ser o hiperespaço.

Para compreender de que maneira a adição de uma dimensão pode tornar as coisas mais simples, imagine o modo como grandes guerras foram feitas pela Roma antiga. As grandes guerras romanas, que muitas vezes envolveram muitos campos de batalha menores, transcorreram invariavelmente em meio a grande confusão, com rumores e informações errôneas jorrando dos dois lados, vindas de muitas direções diferentes. Com batalhas grassando em várias frentes, os generais romanos muitas vezes comandavam às cegas. Roma vencia suas batalhas graças antes à força bruta que à elegância de suas estratégias. É por isso

que um dos primeiros princípios da guerra é apossar-se do terreno elevado – isto é, *subir* para a terceira dimensão, acima do campo de batalha bidimensional. Da posição privilegiada de uma grande colina com uma visão panorâmica do campo de batalha, o caos da guerra fica de repente enormemente reduzido. Em outras palavras, vistos da terceira dimensão (isto é, o topo da colina), a confusão dos campos de batalha menores integra-se num quadro único coerente.

Outra aplicação desse princípio – o de que a natureza se torna mais simples quando expressa em dimensões múltiplas – é a ideia central subjacente à teoria especial da relatividade. Einstein revelou que o tempo é a quarta dimensão, e mostrou que espaço e tempo podiam ser convenientemente unificados numa teoria quadridimensional. Isso, por sua vez, levou inevitavelmente à unificação de todas as quantidades físicas medidas por espaço e tempo, como matéria e energia. Em seguida ele encontrou a expressão matemática precisa para essa unidade entre matéria e energia: $E = mc^2$, talvez a mais célebre de todas as equações científicas.[b]

Para dar uma ideia do enorme poder dessa unificação, passamos a descrever as quatro forças fundamentais, enfatizando o quanto são diferentes e o quanto dimensões adicionais podem nos dar um formalismo unificador. Ao longo dos últimos 2.000 anos, os cientistas descobriram que todos os fenômenos no nosso universo podem ser reduzidos a quatro forças, que de início não apresentam nenhuma semelhança umas com as outras.

A força eletromagnética

A força eletromagnética assume uma variedade de formas, entre as quais a eletricidade, o magnetismo e a própria luz. A força eletromagnética ilumina nossas cidades, enche o ar com a música de nossos rádios e aparelhos de som, nos distrai com a televisão, reduz o trabalho doméstico com aparelhos elétricos, aquece nossa comida com micro-ondas, rastreia nossos aviões e sondas espaciais com radares e eletrifica nossas usinas elétricas. Mais recentemente, o poder da força eletromagnética passou a ser usado em computadores eletrônicos (que revolucionaram o escritório, a casa, a escola e as forças armadas) e em *lasers* (que introduziram novas perspectivas nas comunicações, na cirurgia, nos CDs, no armamento do Pentágono e até nos caixas eletrônicos nas mercearias). Mais da metade do Produto Nacional Bruto da Terra, representando a riqueza acumulada de nosso planeta, depende de algum modo da força eletromagnética.

A força nuclear forte

A força nuclear forte fornece a energia produzida nas estrelas; faz as estrelas brilharem e cria os raios resplandecentes e vivificantes do Sol. Se a força forte desaparecesse de repente, o Sol escureceria, extinguindo toda a vida na Terra. De fato, alguns cientistas acreditam que os dinossauros foram levados à extinção 65 milhões de anos atrás quando fragmentos resultantes do impacto de um cometa foram arremetidos a grande altura na atmosfera, escurecendo a Terra e fazendo a temperatura em torno do planeta cair bruscamente. Ironicamente, é também a força nuclear forte que um dia pode tomar de volta o dom da vida. Liberada pela bomba de hidrogênio, a força nuclear forte poderia um dia matar toda a vida sobre a Terra.

A força nuclear fraca

A força nuclear fraca governa certas formas de desintegração radioativa. Como os materiais radioativos emitem calor quando se desintegram ou se rompem, a força nuclear fraca contribui para aquecer a rocha radioativa profundamente entranhada no interior da Terra. Esse calor, por sua vez, contribui para o calor produzido nos vulcões, as raras mas possantes erupções de rocha liquefeita que chegam à superfície da Terra. As forças fraca e eletromagnética são utilizadas no tratamento de doenças graves: iodo radioativo é usado para extinguir tumores da tireoide e combater certas formas de câncer. A força da desintegração radioativa pode ser também mortal: ela causou devastação em Three Mile Island e em Chernobyl; gera também lixo radioativo, o inevitável subproduto da produção de armas nucleares e das usinas elétricas nucleares, que podem permanecer nocivos por milhões de anos.

A força gravitacional

A força gravitacional mantém a Terra e os planetas em suas órbitas e aglutina a galáxia. Sem a força gravitacional da Terra, seríamos arremessados no espaço pela rotação da Terra como bonecas de trapo. O ar que respiramos se disseminaria rapidamente pelo espaço, levando-nos à asfixia e tornando a vida na Terra impossível. Sem a força gravitacional do Sol, todos os planetas, inclusive a Terra, seriam arremessados do sistema solar para os frios confins das profundezas do espaço, onde a luz solar é pálida demais para sustentar a vida. De fato, sem a força gravitacional, o próprio Sol explodiria. O Sol é o resultado de um delicado equilíbrio entre a força da gravidade, que tende a esmagá-lo, e a força nuclear, que tende a estilhaçá-lo. Sem gravidade, o Sol detonaria como trilhões e trilhões de bombas de hidrogênio.

O desafio central da física teórica hoje é unificar essas quatro forças numa única força. A começar por Einstein, os gigantes da física do século XX tentaram, sem sucesso, descobrir esse esquema unificador. No entanto, a resposta que escapou a Einstein durante os últimos trinta anos de sua vida pode estar no hiperespaço.

A BUSCA DA UNIFICAÇÃO

Einstein disse certa vez: "A natureza nos mostra apenas o rabo do leão. Mas não tenho dúvida de que o leão pertence a ela ainda que não possamos pô-lo à mostra imediatamente por causa de seu enorme tamanho."[3] Se Einstein estava certo, então talvez essas quatro forças sejam o "rabo do leão" e o próprio leão esteja no espaço-tempo multidimensional. Essa ideia alimentou a esperança de que as leis físicas do universo, cujas consequências enchem paredes inteiras de bibliotecas com livros densamente apinhados de tabelas e gráficos, possam um dia ser explicadas por uma única equação.

Essencial para essa perspectiva revolucionária do universo é a compreensão de que uma geometria com dimensões múltiplas pode ser a fonte última de unidade no universo. Em palavras simples, a matéria no universo e as forças que o mantêm coeso, que se manifestam numa variedade desconcertante, infinita, de formas complexas, podem não passar de diferentes vibrações do hiperespaço. Esta ideia, contudo, se choca com o modo de pensar tradicional dos cientistas, que concebiam o espaço e o tempo como um palco passivo em que as estrelas e os átomos são os protagonistas. Para os cientistas, o universo visível da matéria parecia infinitamente mais rico e mais diverso que a arena vazia, imóvel, do universo invisível do espaço-tempo. Quase todo o intenso esforço científico desenvolvido em física das partículas e o maciço financiamento governamental nessa área foram historicamente aplicados à catalogação de propriedades de partículas subatômicas, como os "quarks" e os "glúons", e não à compreensão da natureza da geometria. Agora, os cientistas estão se dando conta de que os conceitos "inúteis" de espaço e tempo podem ser a fonte suprema de beleza e simplicidade na natureza.

A primeira teoria de maior número de dimensões foi chamada *teoria Kaluza-Klein*, em homenagem a dois cientistas que propuseram uma nova teoria da gravidade em que a luz podia ser explicada como vibrações na quinta dimensão. Quando ampliada ao espaço *N*-dimensional (onde *N* pode representar qualquer número inteiro), as desengonçadas teorias das partículas subatômicas adquirem uma simetria espetacular, surpreendente. A velha teoria Kaluza-Klein, no entanto, não era capaz de determinar o valor correto de *N* e havia problemas técnicos na

descrição de todas as partículas subatômicas. Uma versão mais avançada dessa teoria, chamada *teoria da supergravidade*, também apresentava problemas. O recente interesse pela teoria foi despertado em 1984 pelos físicos Michael Green e John Schwarz, que provaram a coerência da versão mais avançada da teoria Kaluza-Klein, chamada *teoria das supercordas*, que postula que toda matéria consiste em minúsculas cordas vibráteis. Surpreendentemente, a teoria das supercordas prevê um número preciso de dimensões para o espaço-tempo: dez.[c]

A vantagem do espaço de dez dimensões é nos dar "espaço suficiente" onde acomodar todas as quatro forças fundamentais. Ademais, temos um quadro físico simples em que explicar a desconcertante miscelânea de partículas subatômicas produzidas por nossos potentes aceleradores. Nos últimos 30 anos, centenas de partículas subatômicas presentes em meio aos destroços criados pela colisão de prótons e elétrons com átomos foram cuidadosamente catalogadas e estudadas por físicos. Como entomologistas que vão pacientemente dando nomes a uma vasta coleção de insetos, os físicos ficaram por vezes assoberbados pela diversidade e complexidade dessas partículas subatômicas. Hoje, esse desnorteante conjunto de partículas subatômicas pode ser explicado como meras vibrações da teoria do hiperespaço.

VIAGEM ATRAVÉS DO ESPAÇO E TEMPO

A teoria do hiperespaço reabriu também a questão da possibilidade do uso do hiperespaço para viagens através do espaço e tempo. Para entender essa ideia, imagine uma corrida de minúsculos platelmintos que vivem na superfície de uma grande maçã. É óbvio para esses vermes que seu mundo, que eles chamam de Maçalândia, é plano e bidimensional, como eles próprios. No entanto, um verme, chamado Colombo, é obcecado com a ideia de que Maçalândia é de alguma maneira finita e curva em algo que ele chama de a terceira dimensão. Chega até a inventar duas palavras novas, *para cima* e *para baixo*, para descrever o movimento nessa terceira dimensão invisível. Seus amigos, porém, o chamam de idiota por acreditar que Maçalândia poderia ser curva em alguma dimensão invisível que ninguém podia ver ou sentir. Um dia, Colombo inicia uma longa e árdua viagem e desaparece no horizonte. Ele acaba por retornar ao seu ponto de partida, provando que o mundo é na verdade curvo na invisível terceira dimensão. Embora exausto de suas jornadas, Colombo descobre que há ainda uma outra maneira de viajar entre dois pontos distantes da maçã. Escavando a maçã, ele consegue abrir um túnel, criando um conveniente atalho para terras distantes. Esses túneis, que reduzem consideravelmente o tempo e o desconforto de uma longa viagem, são por ele

chamados de *buracos de minhoca*. Eles demonstram que o caminho mais curto entre dois pontos não é necessariamente uma linha reta, como lhe fora ensinado, mas um buraco de minhoca.

Um estranho efeito descoberto por Colombo é que, quando entra num desses túneis e sai pela outra extremidade, ele se encontra de volta ao passado. Ao que parece, esses buracos de minhoca ligam partes da maçã em que o tempo avança em marchas diferentes. Alguns dos vermes chegam a afirmar que com esses buracos de minhoca seria viável construir uma máquina do tempo.

Mais tarde, Colombo faz uma descoberta ainda mais importante – sua Maçalândia não é de fato o único mundo no universo. Não passa de uma maçã num grande pomar de maçãs. Sua maçã, ele descobre, coexiste com centenas de outras, algumas com vermes como eles próprios, outras sem. Sob determinadas e raras circunstâncias, ele conjetura, pode ser possível até viajar entre diferentes maçãs no pomar.

Nós, seres humanos, somos como os platelmintos. O senso comum nos diz que nosso mundo, como a maçã deles, é plano e tridimensional. Não importa onde cheguemos com nossas espaçonaves, o universo parece plano. No entanto, o fato de que nosso universo, como Maçalândia, é curvo numa dimensão invisível além de nossa compreensão espacial foi experimentalmente comprovado por vários experimentos rigorosos. Esses experimentos, realizados com a trajetória de feixes de luz, mostram que a luz das estrelas é curvada ao se mover através do universo.

UNIVERSOS MULTIPLAMENTE CONECTADOS

Quando acordamos de manhã e abrimos a janela para deixar entrar algum ar fresco, esperamos ver o jardim da frente. *Não* esperamos deparar com as altíssimas pirâmides do Egito. Da mesma maneira, quando abrimos a porta da frente, esperamos ver os carros na rua, não crateras e vulcões extintos de uma descampada paisagem lunar. Sem sequer pensar a respeito, supomos que podemos abrir janelas ou portas tranquilamente sem entrar em pânico. Nosso mundo, felizmente, não é um filme de Steven Spielberg. Agimos com base numa ideia preconcebida profundamente arraigada (que se prova invariavelmente correta) de que nosso mundo é *conectado de maneira simples*, de que nossas janelas e portas não são acessos para buracos de minhoca que ligam nossa casa a um universo distante. (No espaço comum, um laço de corda pode sempre ser reduzido a um ponto. Quando isso é possível, o espaço é dito simplesmente conectado. No entanto, se o laço for posto em torno da entrada do buraco de

minhoca, ele não pode ser reduzido a um ponto. O laço, na verdade, entra no buraco de minhoca. Esses espaços, onde os laços não são contráteis, são chamados *multiplamente conectados*. Embora a curvatura do nosso universo numa dimensão invisível tenha sido experimentalmente medida, a existência de buracos de minhoca e a possível natureza multiplamente conectada de nosso universo continuam sendo tópicos de controvérsia científica.)

Desde a época de Georg Bernhard Riemann, matemáticos vêm estudando as propriedades de espaços multiplamente conectados em que diferentes regiões do espaço e tempo são emendadas. E físicos, que outrora pensavam que isso era um mero exercício intelectual, estão agora estudando seriamente mundos multiplamente conectados como um modelo prático do nosso universo. Esses modelos são o análogo científico do espelho de Alice. Quando o Coelho Branco de Lewis Carroll despenca pelo buraco de coelho para entrar no País das Maravilhas, ele na verdade cai em um buraco de minhoca.

Com uma folha de papel e uma tesoura, é possível visualizar os buracos de minhoca. Pegue uma folha de papel, corte dois buracos nela e depois religue os dois buracos com um tubo comprido (Figura 1.1). Contanto que você evite pisar no buraco de minhoca, nosso mundo parece perfeitamente normal. As leis usuais da geometria ensinadas na escola são obedecidas. No entanto, se você cair no buraco de minhoca, será instantaneamente transportado para uma região diferente do espaço e tempo. Só retraçando seus passos e caindo de novo no buraco de minhoca você conseguirá retornar ao seu mundo familiar.

VIAGEM NO TEMPO E UNIVERSOS BEBÊS

Embora os buracos de minhoca forneçam uma fascinante área de pesquisa, talvez a questão mais intrigante a emergir dessa discussão do hiperespaço seja a da viagem no tempo. No filme *De volta para o futuro*, Michael J. Fox viaja para trás no tempo e encontra seus pais como adolescentes, antes de se casarem. Lamentavelmente, a mãe de Michael se apaixona por *ele* e despreza o pai, suscitando a espinhosa questão de como ele vai nascer se seus pais jamais se casarem e tiverem filhos.

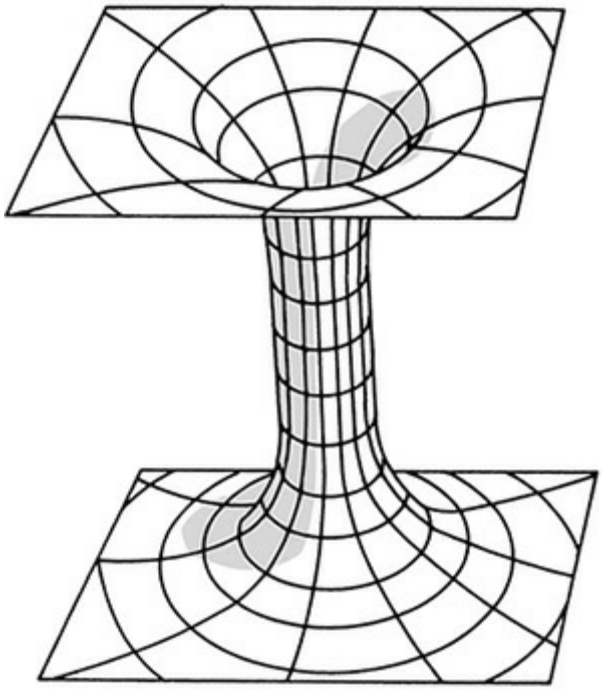


Figura 1.1. Universos paralelos podem ser graficamente representados por dois planos paralelos. Normalmente, eles não interagem um com o outro. Contudo, por vezes buracos de minhoca, ou tubos, podem se abrir entre eles, talvez tornando a comunicação e a viagem entre eles possível. Isso é atualmente objeto de intenso interesse entre os físicos teóricos.

Tradicionalmente, os cientistas tiveram em baixa conta quem quer que levantasse a questão da viagem no tempo. A causalidade (a noção de que todo efeito é precedido, não seguido, por uma causa) mora num relicário profundamente encravado nos fundamentos da ciência moderna. No entanto, na física dos buracos de minhoca, efeitos "acausais" se manifestam repetidamente. De fato, temos de adotar sólidos pressupostos para impedir que uma viagem no tempo aconteça. O principal problema é que os buracos de minhoca podem conectar não só dois pontos distantes no espaço como também o futuro com o passado.

Em 1988, o físico Kip Thorne, do California Institute of Technology, e seus colaboradores fizeram a assombrosa (e arriscada) afirmação de que, na verdade, a viagem no tempo é não somente possível como provável sob certas condições. Eles publicaram sua asserção não numa revista obscura e pouco importante, mas na prestigiosa *Physical Review Letters*. Isso marcou a primeira vez em que físicos renomados, e não excêntricos, vieram fazer uma afirmação cientificamente fundamentada sobre a mudança do curso do próprio tempo. Sua declaração teve por base a observação simples de que um buraco de minhoca conecta duas regiões que existem em diferentes períodos de tempo. Assim, o buraco de minhoca pode ligar o presente ao passado. Uma vez que a viagem através do buraco de minhoca é quase instantânea, seria possível usar o buraco de minhoca para recuar no tempo. No entanto, em contraste com a máquina descrita por H. G. Wells em *A máquina do tempo*, que era capaz de arremessar o protagonista a centenas de milhares de anos rumo ao futuro distante da Inglaterra

mediante o simples girar de um botão, um buraco de minhoca só poderia ser criado com o uso de vastas quantidades de energia, superiores ao que será tecnicamente possível nos próximos séculos.

Outra consequência esquisita da física do buraco de minhoca é a criação de "universos bebês" em laboratório. Somos incapazes, é claro, de recriar o Big Bang e assistir ao nascimento de nosso universo. Contudo, Alan Guth, do Massachusetts Institute of Technology, que deu importantes contribuições à cosmologia, chocou muitos físicos alguns anos atrás ao afirmar que a física dos buracos de minhoca pode tornar possível a criação de nosso próprio universo bebê em laboratório. Concentrando intenso calor e energia numa câmara, pode-se promover finalmente a abertura de um buraco de minhoca que serviria como um cordão umbilical ligando nosso universo a outro, muito menor. Se possível, isso daria a um cientista uma visão sem precedentes de um universo tal como criado em laboratório.

MÍSTICOS E HIPERESPAÇO

Alguns destes conceitos não são novos. Há muitos séculos, místicos e filósofos vêm especulando acerca da existência de outros universos e túneis entre eles. Há muito vêm se sentindo fascinados pela possível existência de outros mundos, não detectáveis pela visão ou pela audição, e no entanto coexistindo com nosso universo. Viram-se intrigados pela possibilidade de que esses mundos inexplorados, inferiores, pudessem mesmo estar tentadoramente próximos, de fato nos cercando e nos permeando para onde quer que nos movêssemos, e no entanto logo além de nosso alcance físico e desconcertando nossos sentidos. Esse palavrório, contudo, era em última análise inútil porque não havia nenhum meio prático para se expressar matematicamente essas ideias e finalmente testá-las.

Passagens entre nosso universo e outras dimensões são também um artifício literário muito apreciado. Escritores de ficção científica consideram um maior número de dimensões uma ferramenta indispensável, usando-a como meio para viagens interestelares. Dadas as distâncias astronômicas que separam as estrelas no céu, esses escritores usam dimensões adicionais como um engenhoso atalho entre as estrelas. Em vez de tomar o longo caminho direto rumo a outras galáxias, as naves simplesmente chispam pelo hiperespaço, empenando o espaço à sua volta. Por exemplo, no filme *Guerra nas estrelas*, o hiperespaço é o refúgio onde Luke Skywalker pode evitar com segurança as naves estelares do Império. No seriado de televisão *Jornada nas estrelas: Espaço profundo nove*, um buraco de minhoca se abre perto de uma estação espacial distante, tornando possível a transposição de distâncias enormes em

segundos. A estação espacial converte-se subitamente no centro de intensa disputa intergaláctica pelo controle dessa ligação tão vital com outras partes da galáxia.

Desde Flight 19, um grupo de aviões torpedeiros-bombardeiros das forças armadas norte-americanas que desapareceu no Caribe trinta anos atrás, autores de romances policiais também têm usado dimensões adicionais como uma solução conveniente para o enigma do Triângulo das Bermudas, ou Triângulo do Demônio. Alguns conjeturaram que os aviões e navios que desapareceram no Triângulo das Bermudas na verdade penetraram em alguma espécie de corredor para um outro mundo.

A existência desses indefiníveis mundos paralelos produziu também interminável especulação religiosa ao longo de séculos. Espiritualistas indagaram se as almas dos entes queridos eram transportadas para outra dimensão. O filósofo britânico do século XVII, Henry More, sustentou que fantasmas e espíritos realmente existiam e afirmou que eles habitavam a quarta dimensão. Em *Enchiridion Metaphysicum* (1671), ele defendeu a existência de um reino inferior além de nossos sentidos tangíveis que serviria como um lar para fantasmas e espíritos.

Teólogos do século XIX, sem saber onde situar o céu e o inferno, consideraram a possibilidade de que eles se localizassem numa dimensão mais elevada. Alguns escreveram sobre um universo que consistiria em três planos paralelos: terra, céu e inferno. O próprio Deus, segundo o teólogo Arthur Willink, tinha sua morada num mundo muito distante desses três planos; ele viveria num espaço de dimensões infinitas.

O interesse por dimensões adicionais atingiu o ápice entre 1870 e 1920, quando a "quarta dimensão" (uma dimensão espacial, diferente do que conhecemos como a quarta dimensão temporal) conquistou a imaginação popular e foi gradualmente contaminando todos os ramos das artes e das ciências, tornando-se uma metáfora para o estranho e o misterioso. A quarta dimensão figurou nas obras literárias de Oscar Wilde, Fiodor Dostoiévski, Marcel Proust, H. G. Wells e Joseph Conrad; ela inspirou algumas das obras musicais de Alexander Scriabin, Edgard Varèse e George Antheil. Fascinou personalidades tão diversas quanto o psicólogo William James, a figura literária Gertrude Stein e o socialista revolucionário Vladimir Lênin.

A quarta dimensão também inspirou as obras de Pablo Picasso e Marcel Duchamp e influenciou fortemente o desenvolvimento do cubismo e do expressionismo, dois dos mais atuantes movimentos artísticos deste século. A historiadora de arte Linda Dalrymple Henderson escreve, "Como um buraco negro, a 'quarta dimensão' possuía qualidades misteriosas que podiam não ser completamente compreendidas, nem mesmo pelos próprios cientistas. Contudo, o impacto da 'quarta dimensão' foi muito mais abrangente que o dos

buracos negros ou de qualquer outra hipótese científica mais recente, exceto a Teoria da Relatividade após 1919".[5]

De maneira semelhante, os matemáticos se mostram há muito intrigados por formas alternativas e bizarras de lógica e geometrias que desafiam toda convenção do bom senso. Por exemplo, o matemático Charles L. Dodgson, que lecionava na Universidade de Oxford, deleitou gerações de crianças escrevendo livros – com o pseudônimo de Lewis Carroll – que incorporam essas estranhas ideias matemáticas. Quando Alice cai num buraco de coelho ou atravessa o espelho, ela entra no País das Maravilhas, um estranho lugar onde gatos Cheshire desaparecem (deixando apenas seu sorriso), cogumelos mágicos transformam crianças em gigantes, e o Chapeleiro Louco celebra "desaniversários". De certo modo, o espelho conecta o mundo de Alice com uma terra estranha onde todo mundo fala por meio de enigmas e o bom senso não é lá tão bom.

Parte da inspiração das ideias de Lewis Carroll veio provavelmente do grande matemático alemão do século XIX, Georg Bernhard Riemann, que foi o primeiro a estabelecer os fundamentos matemáticos das geometrias no espaço com maior número de dimensões. Riemann mudou o curso da matemática para o século que se seguiu, demonstrando que esses universos, por mais estranhos que possam parecer ao leigo, são completamente coerentes e obedecem à sua própria lógica interna. Para visualizar algumas dessas ideias, pense em empilhar muitas folhas de papel, umas sobre as outras. Agora imagine que cada folha representa todo um mundo e que cada mundo obedece às suas próprias leis, diferentes daquelas de todos os outros. Nosso universo, portanto, não estaria sozinho, mas seria um de muitos mundos paralelos possíveis. Seres inteligentes poderiam habitar alguns desses planetas, ignorando por completo a existência dos outros. Numa folha de papel, poderíamos ter o bucólico campo inglês de Alice. Outra folha poderia ser um estranho mundo habitado por criaturas míticas do País das Maravilhas.

Normalmente, a vida em cada um desses planos paralelos prossegue independentemente do que se passa nos outros. Em raras ocasiões, no entanto, os planos podem se cruzar e, por um breve momento, rasgar o próprio tecido do espaço, o que abre um buraco – ou passagem – entre esses dois universos. Como o buraco de minhoca que aparece em *Jornada nas estrelas: Espaço profundo nove*, essas passagens tornam possível a viagem entre esses mundos, como uma ponte cósmica que ligasse dois universos diferentes ou dois pontos do mesmo universo (Figura 1.2). Como não é de surpreender, Carroll encontrou entre as crianças uma receptividade muito maior a essas ideias que entre os adultos, cujas ideias preconcebidas sobre espaço e lógica vão se tornando mais rígidas com o passar do tempo. De fato, a teoria

de dimensões adicionais de Riemann, tal como interpretada por Lewis Carroll, tornou-se parte permanente da literatura e do folclore infantis, dando origem a outras obras clássicas para crianças ao longo de décadas, como a Terra de Oz de Dorothy e a Terra do Nunca de Peter Pan.

Contudo, sem nenhuma confirmação experimental ou motivação física imperativa, essas teorias de mundos paralelos definharam como ramo da ciência. Ao longo de dois milênios, cientistas se detiveram ocasionalmente na ideia de dimensões adicionais, somente para descartá-la como não passível de teste e portanto tola. Embora fosse matematicamente intrigante, a teoria de geometrias mais elevadas de Riemann foi posta de lado como brilhante mas inútil. Os cientistas dispostos a pôr suas reputações em risco em dimensões adicionais logo se viram ridicularizados pela comunidade científica. O espaço multidimensional tornou-se o último refúgio dos místicos, excêntricos e charlatães.

Neste livro, vamos estudar o trabalho desses místicos pioneiros, sobretudo porque eles arquitetaram meios engenhosos para permitir a um não especialista "visualizar" a aparência que objetos multidimensionais podem ter. Esses truques vão se mostrar úteis para a compreensão de como essas teorias de dimensões múltiplas podem ser apreendidas pelo grande público.

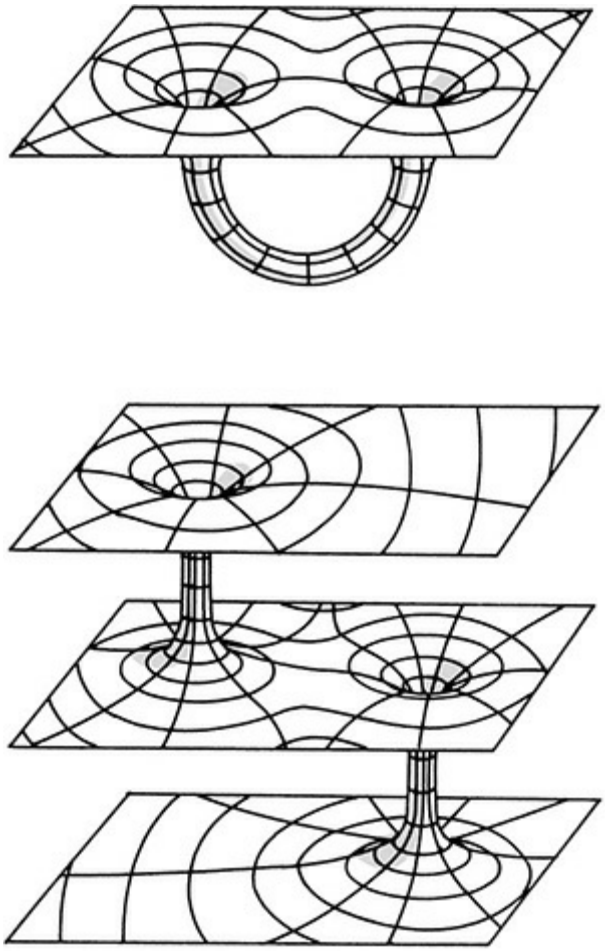


Figura 1.2. Buracos de minhoca podem conectar um universo consigo mesmo, tornando possível uma viagem interestelar. Assim como podem conectar duas eras diferentes, os buracos de minhoca podem também conectar uma série infinita de universos paralelos. A esperança é que a teoria do hiperespaço venha a ser capaz de determinar se os buracos de minhoca são fisicamente possíveis ou uma mera curiosidade matemática.

Estudando o trabalho desses primeiros místicos, vemos também mais claramente o que faltava às suas investigações. Vemos que suas especulações careciam de dois importantes conceitos: um princípio físico e um princípio matemático. Da perspectiva da física contemporânea, compreendemos hoje que o princípio *físico* que falta é o de que o hiperespaço simplifica as leis da natureza, fornecendo a possibilidade da unificação de todas as forças da natureza por argumentos puramente geométricos. O princípio *matemático* que falta é a chamada *teoria de campo*, que é a linguagem matemática universal da física teórica.

TEORIA DE CAMPO: A LINGUAGEM DA FÍSICA

Os campos foram introduzidos pelo notável cientista britânico do século XIX Michael Faraday. Filho de um ferreiro pobre, Faraday foi um gênio autodidata que conduziu elaborados experimentos com eletricidade e magnetismo. Ele visualizou "linhas de força" que, como longos ramos se espalhando a partir de uma planta, emanavam de magnetos e cargas elétricas e se difundiam em todas as direções, enchendo todo o espaço. Com seus instrumentos, Faraday era capaz de medir a intensidade dessas linhas de força oriundas de uma carga magnética ou elétrica em qualquer ponto de seu laboratório. Assim ele pôde atribuir uma série de números (a intensidade e a direção da força) a esse ponto (e a qualquer ponto no espaço). Ele batizou a totalidade desses números em qualquer ponto do espaço, tratado como uma única entidade, de campo. (Há uma história famosa a respeito de Michael Faraday. Como sua fama se espalhara amplamente, ele era visitado com frequência por curiosos. Certa vez, perguntado para que servia seu trabalho, ele respondeu: "Para que serve uma criança? Ela cresce e vira um homem." Um dia, William Gladstone, então ministro das Finanças, visitou Faraday em seu laboratório. Nada sabendo sobre ciência, Gladstone perguntou sarcasticamente a Faraday que utilidade as enormes geringonças elétricas que enchiam seu laboratório podiam ter para a Inglaterra. Faraday respondeu: "*Sir*, não sei para que fim estas máquinas serão usadas, mas tenho certeza de que um dia o senhor vai me fazer pagar impostos por elas." Atualmente, grande parte da riqueza total da Inglaterra está investida no fruto dos esforços de Faraday.)

Em palavras simples, um *campo* é um conjunto de números definido em cada ponto do espaço, que descreve completamente uma força nesse ponto. Por exemplo, três números em cada ponto no espaço podem descrever a intensidade e a direção das linhas magnéticas de

força. Outros três números em qualquer lugar no espaço podem descrever o campo elétrico. Faraday chegou a esse conceito ao pensar num "campo" arado por um fazendeiro. O campo de um fazendeiro ocupa uma região bidimensional do espaço. A cada ponto desse campo pode-se atribuir uma série de números (que descrevem, por exemplo, quantas sementes há nele). O campo de Faraday, no entanto, ocupa uma região tridimensional do espaço. Para cada ponto, há uma série de seis números que descrevem as linhas de força, tanto magnéticas quanto elétricas.

O que torna o conceito de campo de Faraday tão poderoso é que todas as forças da natureza podem ser expressas como um campo. No entanto, precisamos de mais ingredientes antes que possamos compreender a natureza de qualquer força: devemos ser capazes de formular as equações a que esses campos obedecem. O progresso dos últimos cem anos em física teórica pode ser sucintamente expresso como a busca das *equações de campo* das forças da natureza.

Por exemplo, na década de 1860, o físico escocês James Clerk Maxwell formulou as equações de campo para a eletricidade e o magnetismo. Em 1915, Einstein descobriu as equações de campo para a gravidade. Depois de inúmeras tentativas frustradas, as equações de campo para as forças subatômicas foram finalmente formuladas na década de 1970, com o uso do trabalho anterior de C. N. Yang e seu aluno R. L. Mills. Esses campos, que governam a interação de todas as partículas subatômicas, são hoje chamados *campos de Yang-Mills*. No entanto, o enigma que deixou os físicos perplexos neste nosso século é por que as equações do campo subatômico parecem tão imensamente diferentes das equações de campo de Einstein – isto é, por que a força nuclear parece tão diferente da gravidade. Algumas das mais brilhantes mentes no campo da física enfrentaram esse problema, apenas para fracassar.

Talvez tenham fracassado por estarem aprisionados pelo senso comum. Confinadas a três ou quatro dimensões, as equações de campo do mundo subatômico e da gravitação dificilmente podem ser unificadas. A vantagem da teoria do hiperespaço é que o campo de Yang-Mills, o campo de Maxwell e o campo de Einstein podem ser todos confortavelmente acomodados no seio do campo do hiperespaço. Vemos que esses campos se encaixam precisamente no campo do hiperespaço, como peças de um quebra-cabeça. A outra vantagem da teoria de campo é que ela nos permite calcular as energias precisas em que podemos esperar que espaço e tempo formem buracos de minhoca. Em contraste com os antigos, portanto, temos as ferramentas matemáticas para nos guiar na construção das máquinas que poderão um dia curvar espaço e tempo aos nossos caprichos.

Significa isto que caçadores de animais de grande porte podem agora começar a organizar safáris pela era mesozoica para matar grandes dinossauros? Não. Thorne, Guth e Freund vão todos lhe dizer que a escala de energia necessária para investigar essas anomalias no espaço ultrapassa de longe tudo que é disponível na Terra. Freund nos lembra de que a energia necessária para investigar a décima dimensão é um quatrilhão de vezes maior que a energia que pode ser produzida por nosso maior acelerador de partículas.

Torcer o espaço-tempo em nós requer energia numa escala que não será disponível ainda por muitos séculos ou mesmo milênios – se é que um dia será. Mesmo que todas as nações do mundo se unissem para construir uma máquina capaz de investigar o hiperespaço, elas acabariam fracassando. E, como Guth assinala, a temperatura necessária para criar um universo bebê em laboratório é de 1.000 trilhões de trilhões de graus, o que excede de longe qualquer coisa de que possamos dispor. De fato, essa temperatura é muito maior que tudo já encontrado no interior de uma estrela. Assim, embora seja possível que as leis de Einstein e as leis da teoria quântica permitam a viagem no tempo, isto está acima da capacidade de mortais como nós, que mal conseguimos nos evadir do tênue campo gravitacional de nosso próprio planeta. Embora possamos nos maravilhar com as implicações da pesquisa sobre buracos de minhoca, a realização de seu potencial está estritamente reservada para civilizações extraterrestres avançadas.

Houve apenas um período de tempo em que a energia nessa escala enorme esteve prontamente disponível, e isso se deu no instante da Criação. De fato, a teoria do hiperespaço não pode ser testada por nossos maiores aceleradores de partículas porque ela é na realidade uma teoria da Criação. É somente no instante do Big Bang que vemos o pleno poder da teoria do hiperespaço entrar em jogo. Isso suscita a empolgante possibilidade de que a teoria do hiperespaço possa descobrir o segredo da origem do universo.

A introdução de dimensões múltiplas pode ser essencial para desvendar os segredos da Criação. Segundo essa teoria, antes do Big Bang nosso cosmo era de fato um perfeito universo de dez dimensões, um mundo em que a viagem interdimensional era possível. Contudo, esse mundo de dez dimensões era instável, e acabou por "rachar" em dois, gerando dois universos separados: um de quatro e um de seis dimensões. O universo em que vivemos nasceu nesse cataclisma cósmico. Nosso universo quadridimensional se expandiu explosivamente, enquanto nosso universo gêmeo de seis dimensões se contraiu violentamente, até se reduzir a um tamanho quase infinitesimal. Isso explicaria a origem do Big Bang. Se correta, essa teoria demonstra que a rápida expansão do universo nada mais foi que um efeito remoto bastante

pequeno de um evento cataclísmico muito maior, a rachadura do próprio espaço e tempo. A energia que propele a expansão observada do universo é então encontrada no colapso do espaço e tempo de dez dimensões. Segundo a teoria, as estrelas e galáxias distantes estão se afastando de nós em velocidades astronômicas em razão do colapso original do espaço e tempo de dez dimensões.

Essa teoria prevê que nosso universo ainda tem um gêmeo anão, um universo companheiro que foi enroscado numa bolinha de seis dimensões, pequena demais para ser observada. Esse universo de seis dimensões, longe de ser um apêndice inútil de nosso mundo, pode finalmente vir a ser nossa salvação.

COMO ESCAPAR À MORTE DO UNIVERSO

Frequentemente se diz que as únicas constantes da sociedade humana são a morte e os impostos. Para o cosmólogo, a única certeza é que o universo um dia vai morrer. Alguns acreditam que a morte definitiva do universo virá na forma do Big Crunch. A gravitação inverterá a expansão cósmica gerada pelo Big Bang e puxará as estrelas e galáxias de volta novamente rumo a uma massa primordial. À medida que as estrelas se contraírem, as temperaturas se elevarão brutalmente, até que toda matéria e energia no universo estarão concentradas numa colossal bola de fogo que destruirá o universo tal como o conhecemos. Todas as formas de vida serão esmagadas, tornando-se irreconhecíveis. Não haverá escapatória. Cientistas e filósofos, como Charles Darwin e Bertrand Russell, escreveram pesarosamente sobre a insignificância de nossa miserável existência, sabendo que nossa civilização morrerá inexoravelmente quando nosso mundo acabar. Ao que parece, as leis da física lavraram a sentença de morte final, irrevogável, de toda a vida inteligente no universo.

Segundo o falecido físico Gerald Feinberg, da Universidade de Colúmbia, existe uma, e talvez apenas uma, esperança de evitar a calamidade final. Ele especulou que a vida inteligente, dominando finalmente os mistérios do espaço multidimensional ao longo de bilhões de anos, usará as outras dimensões como uma saída de emergência do Big Crunch. Nos momentos finais do colapso de nosso universo, nosso universo irmão se abrirá novamente e a viagem interdimensional se tornará possível. Como toda a matéria estará esmigalhada nos momentos finais que precedem o Juízo Final, formas de vida inteligente poderão conseguir abrir um túnel para o espaço multidimensional ou um universo alternativo, evitando a morte aparentemente inevitável do nosso universo. Depois, a partir de seu refúgio no espaço de maior número de dimensões, essas formas de vida inteligente poderão ser capazes de assistir

à morte do universo em colapso num cataclisma flamejante. À medida que nosso universo de origem for ficando completamente desfigurado por seu esmigalhamento, a temperatura se elevará violentamente, criando mais um Big Bang. De seu ponto de observação no hiperespaço, essas formas de vida inteligente assistirão nas poltronas da primeira fila ao mais raro de todos os fenômenos científicos, a criação de um outro universo e de seu próprio novo lar.

SENHORES DO HIPERESPAÇO

Embora a teoria de campo mostre que a energia necessária para criar essas maravilhosas distorções de espaço e tempo supera em muito tudo que a civilização contemporânea possa reunir, isso suscita duas importantes questões: quanto tempo nossa civilização, que está crescendo exponencialmente em conhecimento e poder, levará para alcançar o ponto de tirar proveito da teoria do hiperespaço? E que dizer sobre outras formas de vida inteligente no universo, que podem já ter alcançado esse ponto?

O que torna essa discussão interessante é que cientistas sérios tentaram quantificar o progresso da civilização num futuro remoto, quando a viagem espacial terá se tornado banal e os sistemas estelares, e até as galáxias vizinhas, terão sido colonizados. Embora a escala de energia necessária para manipular o hiperespaço seja astronomicamente grande, esses cientistas ressaltam que o avanço científico provavelmente continuará a crescer exponencialmente ao longo dos próximos séculos, superando a capacidade de compreensão da mente humana. Desde a Segunda Guerra Mundial, o total do conhecimento científico duplicou a cada dez a vinte anos aproximadamente, de modo que o progresso da ciência e da tecnologia no século XXI pode superar nossas mais disparatadas expectativas. Tecnologias que hoje são mero sonho podem se tornar banais no próximo século. Talvez então se possa discutir a questão de quando poderíamos nos tornar senhores do hiperespaço.

VIAGEM NO TEMPO. UNIVERSOS PARALELOS. JANELAS DIMENSIONAIS

Por si mesmos, estes conceitos se situam no limite de nossa compreensão do universo físico. No entanto, como a teoria do hiperespaço é uma genuína teoria de campo, esperamos que ela acabe por produzir respostas numéricas que determinarão se esses intrigantes conceitos são possíveis. Se a teoria produzir números absurdos, que estejam em conflito com dados físicos, ela deverá ser descartada, por mais elegante que seja sua matemática. Em última análise, somos físicos, não filósofos. Mas, caso se prove correta e explique as simetrias da física

moderna, ela anunciará uma revolução equivalente às revoluções copernicana ou newtoniana.

Para ter uma compreensão intuitiva desses conceitos, contudo, é importante começar pelo começo. Antes que possamos nos sentir à vontade com dez dimensões, devemos aprender como manipular quatro dimensões espaciais. Usando exemplos históricos, vamos explorar as engenhosas tentativas feitas por cientistas ao longo de décadas para fornecer uma representação visual, tangível, do espaço multidimensional. A Parte I, portanto, enfatizará a história da descoberta do espaço multidimensional, começando pelo matemático que deu início a tudo isso, Georg Bernhard Riemann. Prevendo o século de progresso científico que se seguiria, Riemann foi o primeiro a afirmar que a natureza encontra sua morada natural na geometria do espaço de dimensões múltiplas.

---

a. Surpreendentemente, até hoje os físicos ainda não têm uma verdadeira resposta para esse enigma, mas ao longo das décadas simplesmente nos acostumamos com a ideia de que a luz pode se propagar através de um vácuo, ainda que não haja nada para ondular.

b. A teoria de dimensões múltiplas por certo não é meramente acadêmica, pois a consequência mais simples da teoria de Einstein é a bomba atômica, que mudou o destino da humanidade. Nesse sentido, a introdução de dimensões adicionais foi uma das descobertas científicas cruciais de toda a história humana.

c. Freund dá uma risadinha quando lhe perguntam quando seremos capazes de ver dimensões adicionais. Não podemos ver essas dimensões adicionais porque elas se "enroscaram" numa bola tão minúscula que não podem mais ser detectadas. Segundo a teoria Kaluza-Klein, o tamanho dessas dimensões enroscadas é chamado o *comprimento de Planck*,[4] que é 100 bilhões de bilhões de vezes menor que o próton, pequeno demais para ser investigado mesmo por nosso maior acelerador de partículas. Físicos da alta energia haviam alimentado a esperança de que o Superconducting Supercollider (SSC) (que foi cancelado pelo Congresso em outubro de 1993) teria sido capaz de revelar alguns relances indiretos do hiperespaço.

2

Matemáticos e místicos

Mágica é qualquer tecnologia suficientemente avançada.
Arthur C. Clarke

No dia 10 de junho de 1854, uma nova geometria nasceu.

A teoria multidimensional foi introduzida quando Georg Bernhard Riemann fez sua célebre palestra perante o corpo docente da Universidade de Göttingen, na Alemanha. Num lance magistral, como que abrindo um cômodo mofado, sombrio, para o brilho de um cálido sol de verão, a conferência de Riemann expôs o mundo às estonteantes propriedades do espaço de dimensões adicionais.

Seu ensaio "Sobre as hipóteses que residem nos fundamentos da geometria", de profunda importância e excepcional elegância, pôs abaixo os pilares da geometria clássica grega, que havia sobrevivido com sucesso aos ataques de todos os céticos ao longo de dois milênios. A antiga geometria de Euclides, em que todas as figuras geométricas são bi ou tridimensionais, desmoronou e uma nova geometria riemanniana emergiu de seus escombros. A revolução riemanniana teria vastas implicações para o futuro das artes e das ciências. Durante as três décadas que se seguiram à sua palestra, a "misteriosa quarta dimensão" iria influenciar a evolução da arte, da filosofia e da literatura na Europa. Seis décadas depois da conferência de Riemann, Einstein usaria a geometria quadridimensional riemanniana para explicar a criação e a evolução do universo. E, passados 130 anos, os físicos usariam a geometria de dez dimensões para tentar unificar todas as leis do universo físico. O cerne do trabalho de Riemann foi a compreensão de que as leis físicas se tornam mais simples num espaço de dimensões múltiplas, o próprio tema deste livro.

BRILHO EM MEIO À POBREZA

Ironicamente, Riemann era a pessoa menos provável para desencadear uma revolução tão profunda e completa no pensamento matemático e físico. Ele era mortificantemente, quase patologicamente, tímido e sofreu repetidos colapsos nervosos. Padecia também dos males gêmeos que arruinaram as vidas de tantos dos mais extraordinários cientistas do mundo ao longo da história: pobreza abjeta e tuberculose. Sua personalidade e seu temperamento nada mostravam da ousadia empolgante, da amplitude e da suprema confiança típicas de seu

trabalho.

Riemann nasceu em 1826 em Hannover, na Alemanha, o segundo dos seis filhos de um pastor luterano pobre. Seu pai, que combateu nas Guerras Napoleônicas, lutava como pastor da zona rural para alimentar e vestir sua numerosa família. Como o biógrafo E. T. Bell observa, "a saúde frágil e as mortes prematuras da maior parte dos filhos de Riemann foram consequência da desnutrição na infância e não de falta de vigor. A mãe também morreu antes que os filhos estivessem criados".[1]

Em idade muito precoce, Riemann exibiu suas famosas características: fantástica habilidade para calcular, associada a timidez e a um horror a falar em público que perduraria pelo resto de sua vida. Penosamente tímido, era alvo de brincadeiras cruéis por parte dos outros meninos, o que o levava a se retrair ainda mais no mundo intensamente particular da matemática.

Ele era também ardentemente leal à sua família, forçando sua saúde e constituição precárias para comprar presentes para os parentes e em especial para suas queridas irmãs. Para agradar ao pai, Riemann tentou estudar teologia. Sua meta era obter um posto remunerado como pastor o mais rapidamente possível para ajudar a equilibrar as finanças calamitosas da família. (É difícil imaginar quadro mais improvável do que o de um garoto tímido, com dificuldade para abrir a boca, imaginando que poderia proferir sermões inflamados, apaixonados, vituperando o pecado e expulsando o demônio.)

No curso secundário, ele estudou a Bíblia intensamente, mas seus pensamentos sempre eram arrastados de volta para a matemática; chegou a tentar fornecer uma prova matemática da correção do Gênese. Além disso, aprendia tão depressa que estava sempre superando o conhecimento de seus professores, que consideravam impossível acompanhá-lo. Por fim, o diretor da escola de Riemann deu-lhe um livro árduo para mantê-lo ocupado. Tratava-se de *Teoria dos números* de Adrien-Marie Legendre, uma imensa obra-prima de 859 páginas, o mais avançado tratado existente então no mundo sobre a difícil matéria da teoria dos números. Riemann devorou o livro em seis dias.

Quando o diretor perguntou, "Quanto você já leu?", o jovem Riemann respondeu, "Esse é sem dúvida um livro maravilhoso. Eu o assimilei por completo". Sem acreditar muito na fanfarronice do rapaz, vários meses depois o diretor lhe fez obscuras questões tomadas do livro e Riemann respondeu a elas perfeitamente.[2]

Assoberbado pela luta diária para pôr comida na mesa, o pai de Riemann poderia ter encaminhado o menino para algum trabalho subalterno. O que ele fez, contudo, foi juntar penosamente fundos suficientes para mandar o filho de 19 anos para a renomada Universidade

de Göttingen, onde ele veio a conhecer Carl Friedrich Gauss, o aclamado "Príncipe dos Matemáticos", um dos maiores matemáticos de todos os tempos. Até hoje, se você pedir a qualquer matemático que classifique os três mais famosos matemáticos da história, os nomes de Arquimedes, Isaac Newton e Carl Gauss vão aparecer invariavelmente.

A vida para Riemann, contudo, foi uma interminável sucessão de reveses e privações, só superadas com a maior das dificuldades e com sacrifício de sua saúde precária. Todo triunfo era seguido por tragédia e derrota. Por exemplo, assim que sua sorte começou a melhorar e ele iniciou seus estudos formais sob a orientação de Gauss, uma revolução varreu toda a Alemanha. A classe trabalhadora, que sofria havia muito sob condições de vida desumanas, se ergueu contra o governo, com grande número de trabalhadores pegando em armas por todo o país. As manifestações e insurreições do início de 1848 inspiraram os escritos de um outro alemão, Karl Marx, e afetaram profundamente o curso dos movimentos revolucionários por toda a Europa durante os 50 anos seguintes.

Com toda a Alemanha convulsionada, os estudos de Riemann foram interrompidos. Ele foi admitido na unidade dos estudantes, onde teve a duvidosa honra de gastar 16 enfadonhas horas protegendo alguém ainda mais aterrorizado que ele: o rei, que estava tremendo de medo em seu palácio real em Berlim, tentando se proteger da ira da classe trabalhadora.

ALÉM DA GEOMETRIA EUCLIDIANA

Ventos revolucionários estavam soprando não somente na Alemanha, mas também na matemática. O problema que fixou o interesse de Riemann foi o iminente colapso de mais um bastião da autoridade, a geometria euclidiana, que sustenta que o espaço é tridimensional. Ademais, esse espaço tridimensional é "plano" (no espaço plano, a distância mais curta entre dois pontos é uma linha reta; isso omite a possibilidade de o espaço ser curvo, como numa esfera).

De fato, depois da Bíblia, *Elementos* de Euclides foi provavelmente o livro mais influente de todos os tempos. Durante dois milênios, as mentes mais penetrantes da civilização ocidental se maravilharam com sua elegância e a beleza de sua geometria. Milhares das mais belas catedrais da Europa foram construídas segundo seus princípios. Em retrospecto, ela foi demasiadamente bem-sucedida. Com o passar dos séculos, tornou-se uma espécie de religião; todo aquele que ousasse propor espaço curvo ou com maior número de dimensões era relegado às fileiras dos malucos ou heréticos. Por um sem-número de gerações, as crianças se viram às voltas com os teoremas da geometria de Euclides na escola: que a circunferência de

um círculo é π vezes o diâmetro, e que a soma dos ângulos de um triângulo é de 180 graus. No entanto, por mais que tentassem, os mais brilhantes cérebros matemáticos durante vários séculos não conseguiram provar essas proposições enganosamente simples. De fato, os matemáticos da Europa começaram a se dar conta de que até a obra de Euclides que fora reverenciada por 2.300 anos, *Elementos*, era incompleta. A geometria de Euclides continuava sendo viável se permanecêssemos nos limites das superfícies planas, mas se nos extraviássemos pelo mundo das superfícies curvas, ela era de fato incorreta.

Para Riemann, a geometria de Euclides parecia particularmente estéril se comparada com a rica diversidade do mundo. Em lugar algum do mundo natural vemos as figuras geométricas planas, idealizadas, de Euclides. Cadeias de montanhas, ondas do oceano, nuvens e redemoinhos não são círculos, triângulos e quadrados perfeitos, e sim objetos curvos que se vergam e se torcem em infinita diversidade.

Os tempos estavam maduros para uma revolução, mas quem havia de liderá-la e que iria substituir a velha geometria?

A ASCENSÃO DA GEOMETRIA RIEMANNIANA

Riemann se rebelou contra a aparente precisão matemática da geometria grega, cujos alicerces, ele descobriu, firmavam-se em última análise na areia movediça do senso comum e da intuição, não no terreno firme da lógica.

É óbvio, disse Euclides, que um ponto não tem dimensão alguma. Uma linha tem uma dimensão: comprimento. Um plano tem duas dimensões: comprimento e largura. Um sólido tem três dimensões: comprimento, profundidade e altura. E as coisas param por aí. Nada tem quatro dimensões. Essas ideias foram ecoadas pelo filósofo Aristóteles, que parece ter sido a primeira pessoa a afirmar categoricamente que a quarta dimensão espacial é impossível. Em *Sobre o céu*, ele escreveu: "A linha tem magnitude em um sentido, o plano em dois sentidos, e o sólido em três sentidos, e além destas não há nenhuma magnitude porque as três são tudo." Além disso, em 150 d.C., o astrônomo Ptolomeu de Alexandria foi além de Aristóteles e propôs, em seu livro *Sobre a distância*, a primeira "prova" engenhosa de que a quarta dimensão é impossível.

Primeiro, disse ele, trace três linhas mutuamente perpendiculares. Por exemplo, a aresta de um cubo consiste em três linhas mutuamente perpendiculares. Em seguida, ele continuou, tente traçar uma quarta linha que seja perpendicular às outras três. Por mais que se tente, ele concluiu, é impossível traçar quatro linhas mutuamente perpendiculares. Ptolomeu afirmou que

uma quarta linha perpendicular é “inteiramente sem medida e sem definição”. Portanto a quarta dimensão é impossível.

O que Ptolomeu realmente provou foi que é impossível visualizar a quarta dimensão com nossos cérebros tridimensionais. (Na verdade, hoje sabemos que muitos objetos em matemática não podem ser visualizados mas sua existência pode ser demonstrada.) Ptolomeu pode figurar na história como o homem que se opôs a duas grandes ideias em ciência: o sistema solar centrado no Sol e a quarta dimensão.

Ao longo dos séculos, de fato, alguns matemáticos saíram de seus cuidados para condenar a quarta dimensão. Em 1685, o matemático John Wallis contestou o conceito, qualificando-o de um “Monstro na Natureza, menos possível que uma Quimera ou Centauro... Comprimento, Profundidade e Espessura tomam todo o Espaço. Tampouco pode a Fantasia imaginar como poderia haver uma Quarta Dimensão Local além destas Três”.[3] Por várias centenas de anos, os matemáticos repetiriam esse erro simples, mas fatal, de afirmar que a quarta dimensão não pode existir porque não a podemos figurar nas nossas mentes.

A UNIDADE DE TODAS AS LEIS FÍSICAS

O rompimento decisivo com a geometria euclidiana ocorreu quando Gauss pediu a seu aluno Riemann para preparar uma apresentação oral sobre os “fundamentos da geometria”. Gauss estava intensamente interessado em verificar se seu aluno era capaz de desenvolver uma alternativa à geometria euclidiana. (Décadas antes, Gauss havia expressado privadamente profundas e amplas reservas à geometria euclidiana. Chegara até a falar com seus colegas sobre hipotéticas “traças” que poderiam viver exclusivamente numa superfície bidimensional. Falara sobre generalizar isso para a geometria do espaço com dimensões adicionais. No entanto, sendo um homem profundamente conservador, nunca publicou nenhum de seus trabalhos sobre dimensões múltiplas por causa da indignação que isso iria gerar em meio à conservadora e bitolada velha guarda. Zombeteiramente, referia-se a eles como os “beócios”, em alusão a uma tribo grega de simplórios.)[4]

Riemann, contudo, ficou aterrorizado. Aquele homem tímido, com pavor de falar em público, estava sendo solicitado por seu mestre a preparar uma palestra sobre o mais difícil problema matemático do século a ser proferida perante todo o corpo docente.

No curso dos meses seguintes, Riemann começou a desenvolver penosamente a teoria de dimensões adicionais, forçando sua saúde a ponto de sofrer um colapso nervoso. Sua resistência física ficou ainda mais deteriorada em razão de sua desoladora situação financeira.

Era obrigado a aceitar trabalhos como professor particular para sustentar a família. Além disso, estava começando a se desviar na tentativa de explicar problemas de física. Em particular, estava ajudando outro professor, Wilhelm Weber, a conduzir experimentos num novo e fascinante campo de pesquisa, a eletricidade.

A eletricidade, é claro, era conhecida já pelos antigos sob a forma de relâmpagos e faíscas. No início do século XIX, esse fenômeno tornou-se o foco central da pesquisa física. Em particular, a descoberta de que a passagem da corrente de um fio através da agulha de uma bússola pode fazer a agulha girar concentrou a atenção da comunidade dos físicos. Inversamente, o movimento de um ímã em barra ao longo de um fio pode induzir uma corrente elétrica neste. (Isto é chamado de Lei de Faraday, e hoje todos os geradores e transformadores elétricos – e portanto grande parte das bases da tecnologia contemporânea – são fundamentados nesse princípio.)

Para Riemann, esse fenômeno indicava que a eletricidade e o magnetismo são de certo modo manifestações da mesma força. Ele ficou entusiasmado com as novas descobertas e estava convencido de que poderia dar uma explicação matemática que iria unificar a eletricidade e o magnetismo. Enterrou-se no laboratório de Weber, certo de que a nova matemática iria fornecer uma compreensão abrangente dessas forças.

Agora, com os encargos de preparar uma importante palestra pública sobre os "fundamentos da geometria", de sustentar sua família e de conduzir experimentos, sua saúde finalmente entrou em colapso e ele sofreu um esgotamento nervoso em 1854. Mais tarde, Riemann escreveu ao pai, "Fiquei tão absorvido em minha investigação da unidade de todas as leis físicas que, quando o tema da palestra de prova me foi dado, não consegui me arrancar da minha pesquisa. Depois, em parte em consequência de refletir sobre ela, em parte por ter ficado tempo demais entre quatro paredes nesse tempo miserável, caí doente".[5] Esta carta é significativa, pois mostra claramente que, mesmo durante meses de doença, Riemann acreditou firmemente que iria descobrir a "unidade de todas as leis físicas" e que a matemática iria acabar por tornar mais fácil essa unificação.

FORÇA = GEOMETRIA

Finalmente, apesar de suas frequentes doenças, Riemann desenvolveu uma representação surpreendentemente nova do significado de "força". Desde Newton, os cientistas haviam considerado que uma força era uma interação instantânea entre dois corpos distantes. Os físicos chamavam isso de ação a distância, o que significava que um corpo podia influenciar

os movimentos de corpos distantes instantaneamente. A mecânica newtoniana sem dúvida podia descrever os movimentos dos planetas. No entanto, ao longo dos séculos, críticos sustentaram que ação a distância era algo antinatural, porque significava que um corpo podia alterar a direção de outro sem sequer tocá-lo.

Riemann desenvolveu um quadro físico radicalmente novo. Como as "traças" de Gauss, ele imaginou uma raça de criaturas bidimensionais que vivessem numa folha de papel. Mas a ruptura decisiva que ele operou consistiu em pôr essas traças numa folha de papel *amassada*.[6] Que pensariam essas traças sobre seu mundo? Riemann se deu conta de que elas iriam concluir que seu mundo continuava sendo perfeitamente plano. Como seus corpos também estariam amassados, as traças nunca perceberiam que seu mundo estava distorcido. No entanto, afirmou Riemann, se essas traças tentassem se mover pela folha de papel amassada, iriam sentir uma "força" misteriosa, invisível, que as impedia de se deslocar em linha reta. Seriam empurradas para a direita e para a esquerda a cada vez que seus corpos se movessem por uma prega na folha.

Assim Riemann fez a primeira ruptura notável com Newton em 200 anos, banindo o princípio da ação a distância. Para Riemann, *"força" era uma consequência da geometria*.

Em seguida Riemann substituiu a folha bidimensional pelo nosso mundo tridimensional amassado na quarta dimensão. Não seria óbvio para nós que nosso universo estava deformado. No entanto, perceberíamos de imediato que alguma coisa estava errada quando tentássemos caminhar numa linha reta. Iríamos caminhar como um bêbado, como se uma força invisível estivesse nos arrastando, nos puxando para a direita e para a esquerda.

Riemann concluiu que eletricidade, magnetismo e gravidade são consequências do amassamento do nosso universo tridimensional na quarta dimensão invisível. Assim, uma "força" não tem vida própria, independente; é apenas o efeito aparente produzido pela distorção da geometria. Ao introduzir a quarta dimensão, Riemann topou acidentalmente com o que se tornaria um dos temas dominantes da física teórica moderna: a simplicidade que as leis da natureza ganham quando expressas num espaço com maior número de dimensões. Em seguida ele se pôs a desenvolver uma linguagem matemática em que essa ideia pudesse ser expressa.

O TENSOR MÉTRICO DE RIEMANN: UM NOVO TEOREMA PITAGÓRICO

Riemann passou vários meses se recobrando de seu colapso nervoso. Quando finalmente fez sua apresentação oral, em 1854, a acolhida foi entusiástica. Em retrospecto, essa foi,

inquestionavelmente, uma das mais importantes conferências públicas da história da matemática. A notícia de que Riemann rompera decisivamente os limites da geometria euclidiana que havia dominado a matemática por dois milênios se espalhou rapidamente por toda a Europa. Informações sobre a palestra logo chegaram a todos os centros de conhecimento na Europa, e as contribuições de Riemann à matemática começaram a ser aclamadas em todo o mundo acadêmico. Sua palestra foi traduzida em várias línguas e causou considerável sensação na matemática. Não havia como retornar à obra de Euclides.

Como ocorre em muitas das mais importantes obras em física e em matemática, o cerne essencial subjacente ao notável artigo de Riemann é de fácil compreensão. Riemann começou com o famoso teorema de Pitágoras, um dos mais importantes achados dos gregos no campo da matemática. O teorema estabelece a relação entre os comprimentos dos três lados de um triângulo retângulo: declara que a soma dos quadrados dos lados menores é igual ao quadrado do lado maior, a hipotenusa; isto é, se a e b são os comprimentos dos dois lados menores, e c é o comprimento da hipotenusa, então $a^2 + b^2 = c^2$. (O teorema de Pitágoras, é claro, é o fundamento de toda a arquitetura; toda estrutura construída neste planeta se baseia nele.)

O teorema pode ser facilmente generalizado para o espaço tridimensional. Ele declara que a soma dos quadrados de três lados adjacentes de um cubo é igual ao quadrado da diagonal; assim, se a, b e c representam os lados de um cubo, e d é seu comprimento diagonal, então $a^2 + b^2 + c^2 = d^2$ (Figura 2.1).

Torna-se simples então generalizar isso para o caso de N-dimensões. Imagine um cubo N-dimensional. Se a, b, c, ... forem os comprimentos dos lados de um "hipercubo", e z for o comprimento da diagonal, então $a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + ... = z^2$. Extraordinariamente, ainda que nossos cérebros não possam visualizar um cubo N-dimensional, é fácil redigir a fórmula para seus lados. (Esta é uma característica comum do trabalho no hiperespaço. Manipular matematicamente o espaço N-dimensional não é mais difícil que manipular o espaço tridimensional. É simplesmente espantoso que numa simples folha de papel você possa descrever matematicamente as propriedades de objetos com dimensões adicionais que não podem ser visualizados por nossos cérebros.)

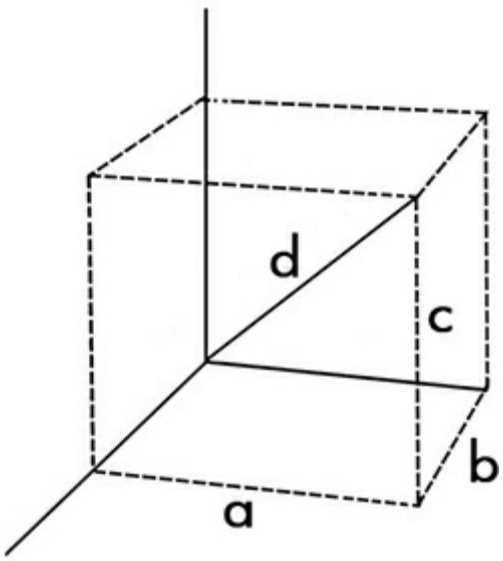


Figura 2.1. O comprimento de uma diagonal de um cubo é dado por uma versão tridimensional do teorema de Pitágoras: $a^2 + b^2 + c^2 = d^2$. Por meio da simples adição de mais termos ao teorema de Pitágoras, esta equação é facilmente generalizada para a diagonal de um hipercubo em N-dimensões. Assim, embora dimensões adicionais não possam ser visualizadas, é fácil representar N-dimensões matematicamente.

Em seguida Riemann generalizou essas equações para espaços de dimensão arbitrária. Esses espaços podem ser planos ou curvos. Se planos, os axiomas usuais de Euclides se aplicam a eles: a distância mais curta entre dois pontos é uma linha reta, linhas paralelas nunca se encontram, e a soma dos ângulos internos de um triângulo é de 180 graus. Mas Riemann descobriu também que as superfícies podem ter uma "curvatura positiva", como na superfície de uma esfera, em que linhas paralelas sempre se encontram e em que a soma dos ângulos de um triângulo pode exceder 180 graus. As superfícies podem também ter "curvatura negativa", como é o caso de uma superfície em forma de sela ou de trombeta. Nestas, a soma dos ângulos interiores de um triângulo é menor que 180 graus. Dada uma linha e um ponto próximo a ela, pode-se traçar um número infinito de linhas paralelas através desse ponto (Figura 2.2).

O objetivo de Riemann era introduzir na matemática um novo objeto que lhe permitisse descrever todas as superfícies, por mais complicadas que fossem. Isso o levou, como era inevitável, a reintroduzir o conceito de campo de Faraday.

O campo de Faraday, como nos lembramos, era semelhante ao campo de um fazendeiro. Mas enquanto este ocupa uma região do espaço bidimensional, o campo de Faraday ocupa uma região do espaço tridimensional; a qualquer ponto do espaço, atribuímos um conjunto de números que descrevem a força magnética ou elétrica nesse ponto. A ideia de Riemann foi introduzir em cada ponto do espaço um conjunto de números que descreveria o quanto ele

estava vergado ou encurvado.

Por exemplo, para uma superfície bidimensional comum, Riemann introduziu em cada ponto um conjunto de três números de modo a descrever completamente a curvatura dessa superfície. Riemann descobriu que em quatro dimensões espaciais precisa-se de um conjunto de dez números em cada ponto para descrever suas propriedades. Por mais amassado ou distorcido que seja o espaço, esse conjunto de dez números em cada ponto é suficiente para codificar toda a informação sobre aquele espaço. Rotulemos esses dez números com os símbolos g_{11}, g_{12}, g_{13},... (Quando analisamos um espaço quadridimensional, o índice mais baixo pode se situar entre um e quatro.) Então, o conjunto de dez números de Riemann pode ser simetricamente arranjado como na Figura 2.3.[7] (Aparentemente há 16 componentes. No entanto, $g_{12} = g_{21}$, $g_{13} = g_{31}$, e assim por diante, de modo que há de fato apenas dez componentes independentes.) Hoje, esse conjunto de números é chamado o *tensor métrico* de Riemann. *Grosso modo*, podemos dizer que quanto maior é o valor do tensor métrico, maior é o amassamento da folha. Não importa quão amassado o papel esteja, o tensor métrico nos dá um meio simples de medir sua curvatura em qualquer ponto. Se alisássemos completamente a folha amassada, restauraríamos a fórmula de Pitágoras.

O tensor métrico de Riemann permitiu-lhe erigir um poderoso aparato para descrever espaços de qualquer número de dimensões com curvatura arbitrária. Para sua surpresa, ele descobriu que todos esses espaços são bem definidos e coerentes. Até então, pensara-se que a investigação do mundo proibido de dimensões adicionais originaria contradições terríveis. Para sua surpresa, Riemann não encontrou nenhuma. De fato, foi quase banal estender seu trabalho ao mundo *N*-dimensional. O tensor métrico iria agora se assemelhar aos quadrados de um tabuleiro de xadrez de tamanho $N \times N$. Isso terá profundas implicações físicas quando discutirmos a unificação de todas as forças nos vários capítulos que se seguem.

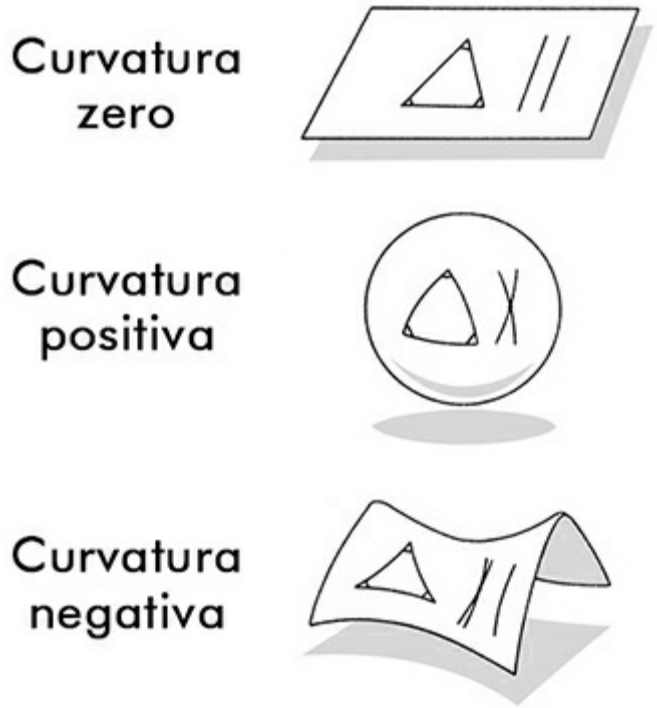


Figura 2.2. Um plano tem curvatura zero. Na geometria euclidiana, os ângulos internos de um triângulo somam 180 graus e linhas paralelas nunca se encontram. Na geometria não euclidiana, uma esfera tem curvatura positiva. Os ângulos internos de um triângulo somam mais de 180 graus e linhas paralelas sempre se encontram. (As linhas paralelas incluem arcos cujos centros coincidem com o centro da esfera. Isso exclui linhas latitudinais.) Uma sela tem curvatura negativa. Os ângulos internos somam menos de 180 graus. Há um número infinito de linhas paralelas a uma dada linha que atravessam um ponto fixo.

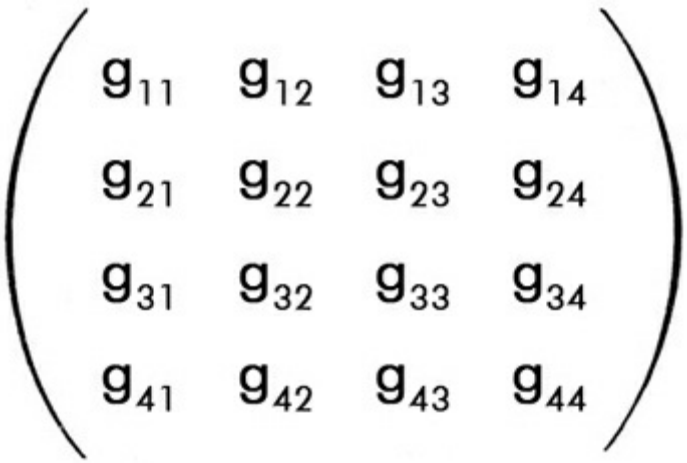


Figura 2.3. O tensor métrico de Riemann contém todas as informações necessárias para se descrever matematicamente um espaço curvo em N-dimensões. São necessários 16 números para descrever o tensor métrico para cada ponto do espaço quadridimensional. Esses números podem ser arranjados numa disposição quadrada (como seis desses números são na verdade redundantes, o tensor métrico tem dez números independentes).

(O segredo da unificação, como veremos, está em expandir a métrica de Riemann ao espaço *N*-dimensional e em seguida retalhá-lo em pedaços retangulares. Cada pedaço retangular corresponde a uma força diferente. Desse modo, podemos descrever as várias forças da natureza introduzindo-as no tensor métrico como peças de um quebra-cabeça. Essa é a expressão matemática do princípio de que o espaço multidimensional unifica as leis da

natureza, de que há "espaço bastante" para uni-las no espaço *N*-dimensional. Mais precisamente, há "espaço bastante" na métrica de Riemann para unir as forças da natureza.)

Riemann antecipou outro desenvolvimento em física; foi um dos primeiros a discutir espaços multiplamente conectados, ou buracos de minhoca. Para visualizar esse conceito, pegue duas folhas de papel e ponha uma sobre a outra. Faça um pequeno corte em cada folha com uma tesoura. Depois cole as duas folhas uma à outra ao longo dos dois cortes (Figura 2.4). (Isto é, topologicamente, o mesmo que se vê na Figura 1.1, com a diferença de que o pescoço do buraco de minhoca tem comprimento zero.)

Se uma traça vive na folha de cima, ela pode um dia acidentalmente caminhar em direção ao corte e se encontrar na folha de baixo. Ficará perplexa porque tudo estará no lugar errado. Depois de muitas experiências, a traça descobrirá que pode reemergir em seu mundo habitual entrando de novo no corte. Se andar em torno do corte, seu mundo parecerá normal; mas quando tentar tomar um atalho através dele, encontrará um problema.

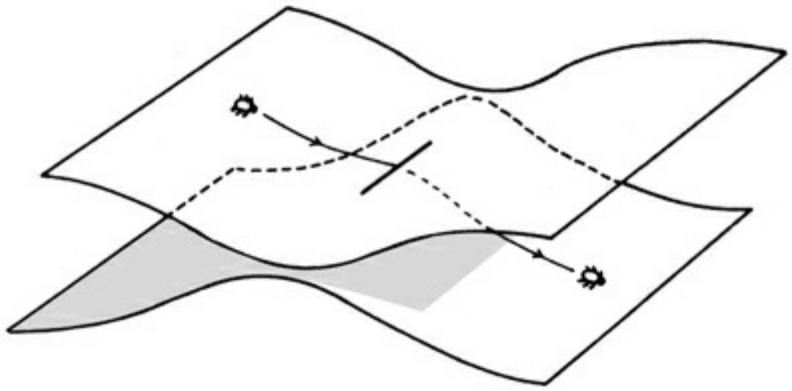


Figura 2.4. O corte de Riemann, com duas folhas conectadas uma à outra ao longo de uma linha. Se caminharmos em torno do corte, permaneceremos dentro do mesmo espaço. Se caminharmos através do corte, porém, passaremos de uma folha para a outra. Esta é uma superfície multiplamente conectada.

Os cortes de Riemann são um exemplo de buraco de minhoca (com a diferença de terem comprimento zero) que conecta dois espaços. O matemático Lewis Carroll tirou grande partido dos cortes de Riemann em seu livro *Através do espelho*. O corte de Riemann, que liga a Inglaterra com o País das Maravilhas, é o espelho. Hoje, esses cortes sobrevivem de duas formas. Primeiro, são citados em todo curso de pós-graduação em matemática no mundo quando aplicados à teoria da eletrostática ou mapeamento conforme. Segundo, eles podem ser encontrados em episódios da série *Além da imaginação*. (Deve-se enfatizar que o próprio Riemann não viu seus cortes como um modo de viagem entre universos.)

Riemann perseverou em seu trabalho em física. Em 1858, anunciou que havia finalmente conseguido chegar a uma descrição unificada de luz e eletricidade. Escreveu: "Estou plenamente convencido de que minha teoria é a correta, e que dentro de poucos anos será reconhecida como tal."[8] Embora seu tensor métrico lhe desse um poderoso meio para descrever qualquer espaço curvo em qualquer dimensão, ele não detinha as equações precisas a que o tensor obedecia; isto é, não sabia o que tornava a folha amassada.

Lamentavelmente, os esforços de Riemann para resolver esse problema foram continuamente baldados por sua excruciante pobreza. Seus sucessos não se traduziram em dinheiro. Sofreu mais um esgotamento nervoso em 1857. Depois de muitos anos, foi finalmente designado para o ambicionado cargo de Gauss em Göttingen, mas era tarde demais. Uma vida de pobreza havia arruinado sua saúde e, como muitos dos mais notáveis matemáticos ao longo da história, Riemann morreu prematuramente de tuberculose aos 39 anos, antes que pudesse completar sua teoria geométrica da gravidade, eletricidade e magnetismo.

Em síntese, Riemann fez muito mais do que lançar os fundamentos da matemática do hiperespaço. Ao nos voltarmos para seu trabalho, vemos que ele antecipou alguns dos temas capitais da física contemporânea. Especificamente:

1. Usou o espaço com dimensões adicionais para simplificar as leis da natureza: isto é, para ele eletricidade e magnetismo, bem como gravidade, eram apenas efeitos decorrentes do amassamento ou empenamento do hiperespaço.
2. Antecipou o conceito de buracos de minhoca. Os cortes de Riemann são os exemplos mais simples de espaços multiplamente conectados.
3. Expressou a gravidade como um campo. O tensor métrico, por descrever a força da gravidade (via curvatura) em cada ponto do espaço, é precisamente o conceito de campo de Faraday quando aplicado à gravidade.

Riemann não conseguiu completar seu trabalho sobre campos de força porque lhe faltavam as equações de campo a que a eletricidade, o magnetismo e a gravidade obedecem. Em outras palavras, ele não sabia precisamente como o universo seria amassado para produzir a força da gravidade. Tentou descobrir as equações de campo para a eletricidade e o magnetismo, mas morreu antes de poder completar esse projeto. Quando de sua morte, ainda não tinha nenhum meio para calcular que quantidade de amassamento seria necessária para a descrição das forças. Esses desenvolvimentos decisivos seriam deixados para Maxwell e Einstein.

O encanto fora finalmente quebrado.

Riemann, em sua breve vida, quebrou o encanto lançado por Euclides mais de dois mil anos antes. O tensor métrico de Riemann foi a arma com que os jovens matemáticos puderam desafiar os beócios, que estrilavam a qualquer menção de um número maior de dimensões. Os que seguiram as pegadas de Riemann tiveram mais facilidade para falar de mundos invisíveis.

Logo, a pesquisa floresceu em toda a Europa. Cientistas eminentes começaram a divulgar a ideia para o grande público. Hermann von Helmholtz, talvez o mais famoso físico alemão de sua geração, foi profundamente influenciado pela obra de Riemann e escreveu e falou amplamente para o grande público sobre a matemática de seres inteligentes que habitariam uma bola ou esfera.

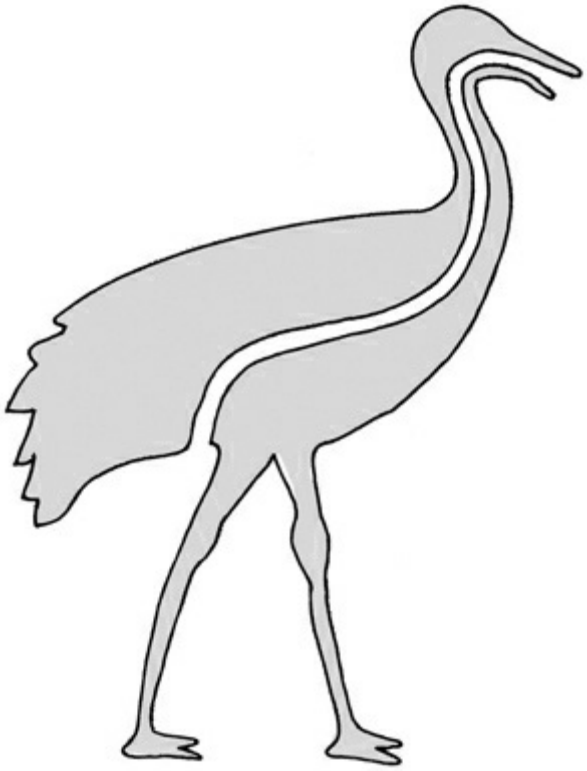


Figura 2.5. Um ser bidimensional não pode comer. Seu trato digestivo o cinde necessariamente em dois pedaços distintos, e ele se desintegrará.

Segundo Helmholtz, essas criaturas, com poderes de raciocínio semelhantes aos nossos, iriam descobrir independentemente que todos os postulados e teoremas de Euclides eram inúteis. Numa esfera, por exemplo, as somas dos ângulos internos de um triângulo não é de 180 graus. As "traças" mencionadas pela primeira vez por Gauss viam-se agora habitando as esferas bidimensionais de Helmholtz. Este escreveu que "os axiomas geométricos devem variar de acordo com o tipo de espaço habitado por seres cujas faculdades de raciocínio estão

em total conformidade com as nossas".[9] No entanto, em sua obra *Popular Lectures of Scientific Subjects* (1881), Helmholtz advertiu seus leitores de que nos é impossível visualizar a quarta dimensão. De fato, ele disse, "tal 'representação' é tão impossível quanto o seria a 'representação' de cores para um cego de nascença".[10]

Alguns cientistas, maravilhados com a elegância do trabalho de Riemann, tentaram encontrar aplicações físicas para tão poderoso aparato.[11] Enquanto alguns cientistas estavam explorando as aplicações de dimensões adicionais, outros formulavam perguntas mais práticas, mundanas, do tipo: como um ser bidimensional come? Para os seres bidimensionais de Gauss comerem, suas bocas teriam de se abrir de lado. Mas se formos desenhar seu trato digestivo, perceberemos que essa passagem secciona seus corpos por completo (Figura 2.5). Assim, se eles comerem, seus corpos vão se rachar em dois pedaços. De fato, qualquer tubo que conecte duas aberturas em seus corpos vai rachá-los em dois pedaços. Isto nos põe diante de uma escolha difícil. Ou essa gente come como nós e seus corpos se desmembrarão, ou eles obedecem a leis biológicas diferentes.

Lamentavelmente, a matemática avançada de Riemann estava além da compreensão relativamente atrasada da física no século XIX. Não havia nenhum princípio físico para nortear a pesquisa futura. Teríamos de esperar mais um século para que os físicos alcançassem os matemáticos. Mas isso não impediu os cientistas do século XIX de especular interminavelmente sobre a aparência que os seres da quarta dimensão poderiam ter. Logo compreenderam que um ser da quarta dimensão teria poderes quase divinos.

SER UM DEUS

Imagine-se capaz de, caminhando, atravessar paredes.

Você não precisaria se dar ao trabalho de abrir portas; poderia simplesmente atravessá-las. Não teria de contornar prédios; poderia entrar neles através das paredes e dos pilares e sair pela parede dos fundos. Não teria de contornar montanhas; poderia passar direto por dentro delas. Quando tivesse fome, bastaria meter a mão pela porta da geladeira, sem ter de abri-la. Você jamais ficaria do lado de fora de seu carro acidentalmente trancado; poderia simplesmente passar pela porta fechada.

Imagine-se capaz de desaparecer ou reaparecer à vontade. Em vez de ir de carro para a escola ou para o trabalho, você poderia simplesmente desaparecer e se rematerializar em sua sala de aula ou escritório. Não precisaria de um avião para visitar lugares distantes, bastaria desaparecer e se rematerializar no lugar desejado. Você nunca ficaria horas preso num

congestionamento de trânsito; você e seu carro simplesmente desapareceriam e se rematerializariam em seu destino.

Imagine-se com olhos de raios X. Você seria capaz de ver acidentes acontecendo a distância. Depois de desaparecer e se rematerializar no local do acidente, caso as vítimas estivessem soterradas pelos escombros, poderia ver exatamente onde elas estavam.

Imagine-se capaz de penetrar num objeto sem ter de abri-lo. Você poderia extrair os gomos de uma laranja sem descascá-la ou cortá-la. Seria aclamado como um exímio cirurgião, com a capacidade de restaurar os órgãos internos de pacientes sem jamais ter de lhes cortar a pele, reduzindo assim enormemente a dor e o risco de infecção. Bastaria penetrar no corpo da pessoa, passando diretamente através da pele, e efetuar a delicada operação.

Imagine o que um criminoso poderia fazer com esses poderes. Poderia entrar no banco mais fortemente guardado. Poderia localizar através das maciças paredes do cofre os valores e o dinheiro, enfiar a mão lá dentro e tirá-los fora. Depois poderia sair andando tranquilamente, enquanto as balas disparadas pelos guardas atravessassem seu corpo. Nenhuma prisão poderia deter um criminoso com esses poderes.

Não haveria nenhum segredo para nós. Nenhum tesouro nos poderia ser ocultado. Nenhum obstáculo poderia nos deter. Iríamos de fato operar milagres, realizando proezas além da compreensão dos mortais. Seríamos também onipotentes.

Que ser poderia possuir um poder tão divino? Resposta: um ser do mundo multidimensional. Evidentemente, essas proezas estão acima da capacidade de qualquer pessoa tridimensional. Para nós, paredes são sólidas e barras de cadeia são inquebráveis. A tentativa de atravessar paredes só nos faria ficar com o nariz doendo, sangrando. Para um ser quadridimensional, porém, esses feitos seriam brincadeira de criança.

Para compreender como essas proezas miraculosas podem ser realizadas, considere novamente os seres míticos bidimensionais de Gauss, vivendo num tampo de mesa bidimensional. Para pôr um criminoso na cadeia, os chatalandeses simplesmente traçam um círculo em torno dele. Quaisquer que sejam os movimentos que possa fazer, o criminoso se choca contra o círculo impenetrável. No entanto, para nós é uma tarefa banal livrar esse prisioneiro da cadeia. Simplesmente esticamos o braço, agarramos o chatalandês, o erguemos do mundo bidimensional e o redepositamos em qualquer outro lugar de seu mundo (Figura 2.6). Esse feito, que é bastante comum em três dimensões, parece fantástico em duas.

Para seu carcereiro, o prisioneiro terá desaparecido subitamente de uma prisão de segurança máxima, sumindo no ar. Depois, de maneira igualmente súbita, ele reaparece em outro lugar. Se você explicasse para o carcereiro que o prisioneiro foi deslocado “para cima”

e para fora de Chatalândia, ele não entenderia o que você estava dizendo. A expressão "para cima" não existe na linguagem de Chatalândia, e tampouco o carcereiro pode visualizar o conceito.



Figura 2.6. Em Chatalândia, uma "cadeia" é um círculo traçado em torno de uma pessoa. Em duas dimensões, é impossível escapar desse círculo. No entanto, uma pessoa tridimensional pode puxar uma pessoa para fora da cadeia, levando-a para a terceira dimensão. Do ponto de vista de um carcereiro, o prisioneiro pareceria ter evaporado misteriosamente.

As outras proezas podem ser explicadas da mesma maneira. Por exemplo, observe que os órgãos internos (como o estômago ou o coração) de um chatalandês são completamente visíveis para nós, do mesmo modo que a estrutura interna de células numa lâmina de microscópio. Assim, torna-se banal chegar ao interior de um chatalandês e realizar uma cirurgia sem cortar a pele. Podemos também erguer o chatalandês de seu mundo, zanzar com ele de um lado para outro e baixá-lo de novo. Observe que agora seus órgãos direitos e esquerdos estarão invertidos, de modo que o coração estará do lado direito (Figura 2.7).

Note que, quando contemplamos Chatalândia, nós também somos onipotentes. Mesmo que o chatalandês se esconda dentro de uma casa ou sob o chão, podemos vê-lo perfeitamente. Ele veria nossos poderes como mágicos; nós, contudo, saberíamos que o que está em ação não é nenhuma mágica, simplesmente uma perspectiva mais vantajosa. (Embora esses feitos de "mágica" sejam, em princípio, possíveis dentro do reino da física do hiperespaço, devemos advertir, mais uma vez, que a tecnologia necessária para a manipulação do espaço-tempo excede em muito qualquer coisa possível na Terra, pelo menos por centenas de anos. A capacidade de manipular o espaço-tempo talvez seja o apanágio de alguma vida extraterrestre existente no universo, extremamente à frente de tudo que se encontra na Terra, com tecnologia para dominar a energia numa escala um quatrilhão de vezes maior que nossas máquinas mais

poderosas.)

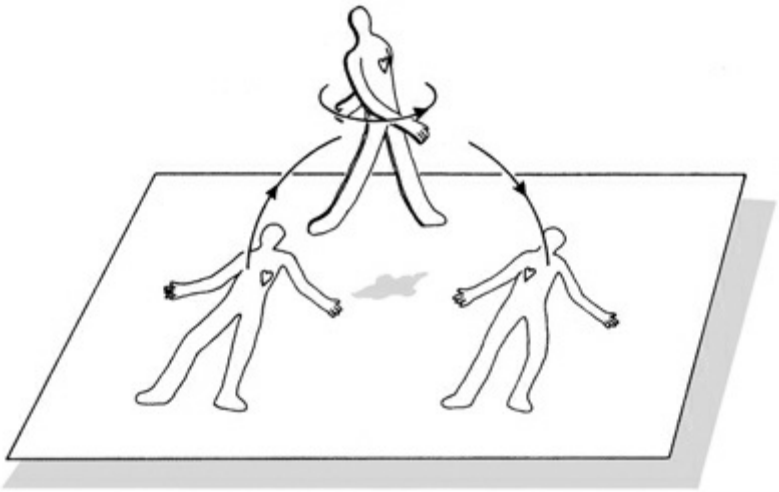


Figura 2.7. Se arrancarmos um chatalandês de seu mundo e lhe dermos um piparote em três dimensões, seu coração parecerá estar do lado direito. Todos os seus órgãos internos terão sido invertidos. Essa transformação é uma impossibilidade médica para alguém que viva estritamente em Chatalândia.

Embora a famosa preleção de Riemann tenha sido popularizada pela obra de Helmholtz e de muitos outros, o público leigo pouco podia entender daquilo ou dos hábitos alimentares de criaturas bidimensionais. Para a pessoa comum, a pergunta era mais direta: que tipo de seres podem atravessar paredes, ver através do aço e operar milagres? Que tipo de seres são onipotentes e obedecem a um conjunto de leis diferente do que nos rege?

Ora, fantasmas, é claro!

Na ausência de qualquer princípio físico que motivasse a introdução de dimensões adicionais, a teoria da quarta dimensão deu de repente uma guinada imprevista. Vamos agora iniciar um estranho mas importante desvio na história do hiperespaço, examinando seu impacto inesperado mas profundo nas artes e na filosofia. Esse giro pela cultura popular vai mostrar como os místicos nos forneceram maneiras engenhosas para "visualizar" o espaço multidimensional.

FANTASMAS DA QUARTA DIMENSÃO

A quarta dimensão penetrou na consciência do público em 1877, quando um julgamento escandaloso em Londres lhe conferiu notoriedade internacional.

Os jornais londrinos divulgaram amplamente as sensacionais afirmativas e o inusitado julgamento do médium Henry Slade. Os ruidosos trâmites legais atraíram alguns dos mais destacados físicos da época. Em consequência de toda a publicidade, o assunto quarta dimensão deixou os quadros-negros dos matemáticos abstratos e tomou conta da sociedade

elegante, transformando-se em conversas à mesa de jantar por toda Londres. A "extraordinária quarta dimensão" era agora o assunto da cidade.

Tudo começou de maneira bastante inocente, quando Slade, um médium dos Estados Unidos, visitou Londres e realizou sessões com figuras proeminentes da cidade. Em seguida ele foi preso por fraude e acusado de "usar manhas e estratagemas, por quiromancia e outros meios", para enganar seus clientes.[12] Normalmente, esse julgamento teria passado despercebido. Mas a sociedade de Londres ficou escandalizada e divertida quando físicos eminentes vieram em defesa do médium, afirmando que seus feitos mediúnicos provavam realmente ser ele capaz de convocar espíritos que viviam na quarta dimensão. Esse escândalo foi inflamado pelo fato de os defensores de Slade não serem cientistas britânicos comuns, mas alguns dos maiores físicos do mundo. Muitos deles mais tarde ganhariam o prêmio Nobel de Física.

Desempenhando um papel preponderante na incitação do escândalo estava Johann Zollner, professor de física e astronomia na Universidade de Leipzig. Foi Zollner que organizou uma plêiade de físicos de grande importância para ir em defesa de Slade.

Que místicos podiam executar truques de salão para a corte real e a boa sociedade não era, é claro, nenhuma novidade. Durante séculos eles haviam afirmado ser capazes de convocar espíritos para ler o que estava escrito em envelopes fechados, tirar objetos de garrafas fechadas, restaurar palitos de fósforo quebrados e entrelaçar anéis. O que ocorreu de estranho nesse julgamento foi que cientistas importantes afirmaram que essas proezas eram possíveis pela manipulação de objetos na quarta dimensão. Nesse processo, eles forneceram ao público sua primeira compreensão de como esses feitos miraculosos podem ser operados através da quarta dimensão.

Zollner arregimentou a ajuda de proeminentes físicos internacionais que participavam da Sociedade para a Pesquisa Psíquica e que chegaram a tentar liderar a organização, entre os quais alguns dos nomes mais ilustres do século XIX: William Crookes, inventor do tubo de raios catódicos, que hoje é usado em todo aparelho de televisão e monitor de computador do mundo;[13] Wilhelm Weber, colaborador de Gauss e mentor de Riemann (hoje, a unidade internacional de magnetismo é oficialmente denominada "weber" em sua homenagem); J. J. Thompson, que ganhou o prêmio Nobel de 1906 pela descoberta do elétron; e *Lord* Rayleigh, reconhecido por historiadores como um dos mais notáveis físicos clássicos do final do século XIX e ganhador do prêmio Nobel de Física em 1904.

Crookes, Weber e Zollner, em particular, dedicaram especial interesse ao trabalho de Slade, que acabou por ser condenado por fraude no tribunal. No entanto, ele insistia em que

podia provar sua inocência repetindo seus feitos perante um corpo científico. Intrigado, Zollner aceitou o desafio. Vários experimentos controlados foram conduzidos em 1877 para testar a capacidade de Slade de enviar objetos através da quarta dimensão. Vários eminentes cientistas foram convidados por Zollner para avaliar as habilidades de Slade.

Em primeiro lugar, foram dados a Slade dois anéis de madeira separados, inteiros. Seria ele capaz de enfiar um anel de madeira pelo outro, de modo que os dois ficassem entrelaçados, sem se quebrar? Se Slade conseguisse, Zollner escreveu, isso "representaria um milagre, isto é, um fenômeno que nossas concepções anteriores dos processos físicos e orgânicos seriam absolutamente incompetentes para explicar".[14]

Em segundo lugar, deram-lhe conchas de caracol marinho, enroscadas para a direita ou para a esquerda. Seria Slade capaz de transformar uma concha enroscada para a direita numa concha enroscada para a esquerda e vice-versa?

Em terceiro lugar, deram-lhe um laço fechado feito de tripa de animal. Poderia ele dar um nó na corda circular sem a cortar?

Slade foi apresentado também a variações desses testes. Por exemplo, uma corda foi atada num nó orientado para a direita e suas pontas foram lacradas com cera e timbradas com o selo pessoal de Zollner. Pediu-se a Slade que desatasse o nó sem quebrar o lacre de cera, e voltasse a atar a corda num nó voltado para a esquerda. Como na quarta dimensão é sempre possível desatar nós, esse feito seria fácil para uma pessoa quadridimensional. Slade foi também solicitado a retirar os conteúdos de uma garrafa lacrada sem quebrá-la.

Conseguiu Slade demonstrar essa estarrecedora capacidade?

Mágica na quarta dimensão

Hoje compreendemos que a manipulação de espaço com dimensões adicionais, tal como a que Slade afirmava fazer, exigiria uma tecnologia muito à frente de tudo que é possível neste planeta num futuro concebível. O que esse caso notório tem de interessante, contudo, é que Zollner concluiu corretamente que as façanhas mágicas de Slade podiam ser explicadas caso fosse possível de algum modo mover objetos através da quarta dimensão. Assim, por razões pedagógicas, os experimentos de Zollner são de extremo interesse e merecem discussão.

Por exemplo, em três dimensões, anéis separados não podem ser enfiados um no outro de modo a se entrelaçarem a menos que sejam quebrados. Da mesma maneira, pedaços de corda circulares, fechados, não podem ser atados em nós a menos que sejam cortados. Qualquer escoteiro ou bandeirante que se viu às voltas com os nós para ganhar suas insígnias de mérito

sabe que nós em um laço de corda circular não podem ser removidos. No entanto, em dimensões mais altas, nós são facilmente desatados e anéis podem ser entrelaçados. Isso ocorre porque há "mais espaço" para mover laços um através do outro e enfiar anéis uns nos outros. Se a quarta dimensão existisse, cordas e anéis poderiam ser erguidos de nosso universo, entrelaçados, e depois devolvidos ao nosso mundo. De fato, na quarta dimensão, os nós nunca permanecem atados. Podem sempre ser desatados sem que a corda seja cortada. Esse feito é impossível em três dimensões, mas banal na quarta. Na verdade, o que se verifica é que a terceira dimensão é a única em que os nós permanecem atados. (A prova desse resultado bastante inesperado é fornecida nas Notas.)[15]

Da mesma maneira, em três dimensões é impossível converter um objeto voltado para a esquerda num objeto voltado para a direita. Os seres humanos nascem com o coração do lado esquerdo, e nenhum cirurgião, por mais habilidoso que seja, é capaz de inverter os órgãos internos humanos. Isso só é possível (como o matemático August Möbius assinalou pela primeira vez em 1827) se erguermos o objeto de nosso universo, o girarmos na quarta dimensão e depois o reinserirmos no nosso universo. Dois desses truques estão representados na Figura 2.8; eles só podem ser executados se os objetos puderem ser transportados para a quarta dimensão.

Polarização da comunidade científica

Zollner desencadeou uma tempestade de controvérsias quando, publicando ao mesmo tempo no *Quarterly Journal of Science* e *Transcendental Physics*, afirmou que Slade assombrou suas plateias com esses feitos "milagrosos" durante sessões assistidas por eminentes cientistas. (No entanto, Slade também fracassou em alguns dos testes que foram conduzidos sob condições controladas.)

A vigorosa defesa das façanhas de Slade causou sensação por toda a sociedade londrina. (Na verdade, esse foi apenas um de vários incidentes extremamente divulgados envolvendo espiritualistas e médiuns no final do século XIX. A Inglaterra vitoriana parecia fascinada pelo oculto.) Tanto cientistas quanto o grande público se posicionaram rapidamente em relação à matéria. Em apoio às afirmações de Zollner estava seu círculo de respeitáveis cientistas, entre os quais Weber e Crookes. Estes não eram cientistas medianos, mas mestres na arte da ciência e observadores tarimbados do experimento. Haviam passado toda uma vida trabalhando com fenômenos naturais, e agora, diante dos seus olhos, Slade estava operando proezas que só eram possíveis se houvesse espíritos vivendo na quarta dimensão.

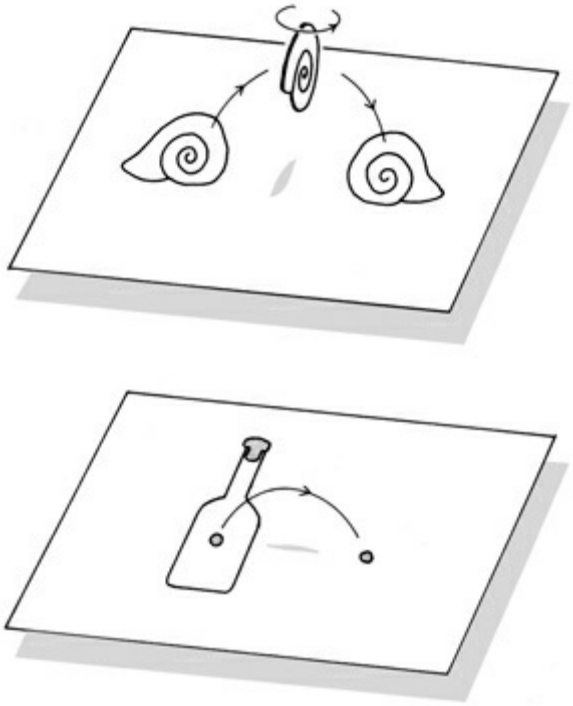


Figura 2.8. O místico Henry Slade afirmou ser capaz de mudar conchas de caracol enroscadas para a direita em conchas enroscadas para a esquerda e de retirar objetos de garrafas lacradas. Essas façanhas, impossíveis em três dimensões, são banais para alguém capaz de mover objetos através da quarta dimensão.

Detratores de Zollner, porém, alegavam que os cientistas, por serem preparados para acreditar em seus sentidos, são os piores avaliadores possíveis para um mágico. Um mágico é preparado especificamente para aturdir, enganar e confundir exatamente os sentidos. Um cientista pode observar cuidadosamente a mão direita do mágico, mas é a mão esquerda que realiza secretamente o truque. Críticos assinalaram também que somente um outro mágico é engenhoso o suficiente para detectar as prestidigitações de um colega mágico. Só um ladrão é capaz de flagrar outro ladrão.

Uma crítica particularmente ferina, publicada na revista trimestral *Bedrock*, foi dirigida a dois outros físicos proeminentes, *Sir* W. F. Barrett e *Sir* Oliver Lodge, e a seu trabalho sobre telepatia. O artigo foi implacável:

> Não é necessário nem encarar o fenômeno da chamada telepatia como inexplicável nem considerar a condição mental de *Sir* W. F. Barrett e *Sir* Oliver Lodge como indistinguível da idiotice. Há uma terceira possibilidade. *A vontade de acreditar* os levou a aceitar rapidamente indícios obtidos sob condições que eles teriam reconhecido como sem solidez se tivessem uma formação em psicologia experimental.

Mais de um século mais tarde, precisamente os mesmos argumentos, pró e contra, seriam usados no debate acerca das façanhas do médium israelense Uri Geller, que convenceu dois renomados cientistas do Stanford Research Institute, na Califórnia, de que era capaz de entortar chaves usando unicamente força mental e operar outros milagres. (Acerca disto, alguns cientistas repetiram um dito que remonta aos romanos, *Populus vult decipi, ergo*

decipiatur [O povo quer ser enganado, portanto que se engane].)

As paixões que campeavam no seio da comunidade científica britânica desencadearam um inflamado debate que se espalhou rapidamente, transpondo o canal da Mancha. Lamentavelmente, nas décadas que se seguiram à morte de Riemann, os cientistas perderam de vista sua meta original de simplificar as leis da natureza através de dimensões adicionais. Consequentemente, essa extraviou-se por muitas direções interessantes mas questionáveis. Esta é uma lição importante. Sem uma clara motivação física ou um quadro físico norteador, conceitos matemáticos puros por vezes se perdem em especulação.

Essas décadas não representaram uma perda completa, contudo, porque matemáticos e místicos como Charles Hinton iriam inventar engenhosos meios para se "ver" a quarta dimensão. Finalmente, a influência disseminada da quarta dimensão iria completar o círculo e mais uma vez polinizar por cruzamento o mundo da física.

3

O homem que "viu" a quarta dimensão

> Por volta de 1910, a quarta dimensão havia se tornado uma palavra quase banalizada... Sendo desde uma realidade ideal platônica ou kantiana – ou até o Céu – à resposta para todos os problemas que intrigavam a ciência da época, a quarta dimensão podia ser todas as coisas para todas as pessoas.
>
> Linda Dalrymple Henderson

Com as paixões suscitadas pelo julgamento do "notório Sr. Slade", era talvez inevitável que a controvérsia acabasse por gerar um romance de grande vendagem.

Em 1884, após uma década de áspero debate, o clérigo Edwin Abbot, diretor da City of London School, escreveu o romance de surpreendente sucesso e permanência: *Flatland: A Romance of Many Dimensions by a Square*.[d] Por causa do intenso fascínio público pelas dimensões adicionais, o livro foi um sucesso instantâneo na Inglaterra, com nove tiragens sucessivas até o ano de 1915, e com edições demais para serem contadas até hoje.

O que *Flatland* teve de surpreendente foi que Abbot, pela primeira vez, usou a controvérsia em torno da quarta dimensão como um veículo de mordaz crítica social e sátira. Abbot investiu zombeteiramente contra as pessoas rígidas, piedosas, que se recusavam a admitir a possibilidade de outros mundos. As "traças" de Gauss tornaram-se os *Flatlanders*, ou chatalandeses. Os beócios, que Gauss tanto temia, tornaram-se os Sumos Sacerdotes, que iriam perseguir – com o vigor e a imparcialidade da Inquisição espanhola – todo aquele que ousasse mencionar a invisível terceira dimensão.

Flatland, o livro de Abbot, é uma crítica tenuemente disfarçada à intolerância e ao preconceito sufocantes que prevaleciam na Inglaterra vitoriana. O herói do romance, Sr. Square, é um cavalheiro conservador que vive numa Terra bidimensional, socialmente estratificada, onde todas as pessoas são um objeto geométrico. As mulheres, ocupando o escalão mais baixo da hierarquia social, são meras linhas, os nobres são polígonos, ao passo que os Sumos Sacerdotes são círculos. Quanto mais lados as pessoas têm, mais elevada é sua categoria social.

Discutir a terceira dimensão é estritamente proibido. Quem quer que a mencione é condenado a severa punição. Square é uma pessoa presunçosa, hipócrita, que nunca pensa em questionar o *establishment* por suas injustiças. Um dia, contudo, sua vida vira de cabeça para baixo para sempre quando ele é visitado por um misterioso *Lord* Sphere, uma esfera tridimensional. Aos olhos de Square, *Lord* Sphere parece um círculo que pode mudar de

tamanho magicamente (Figura 3.1).

Lord Sphere tenta explicar que vem de outro mundo, chamado Spaceland, onde todos os objetos têm três dimensões. Square, no entanto, não se convence; resiste teimosamente à ideia de que possa existir uma terceira dimensão. Frustrado, *Lord* Sphere decide recorrer a atos, não a meras palavras. Retira então Square da bidimensional Flatland e o joga em Spaceland. É uma experiência fantástica, quase mística, que muda a vida de Square.

Ao flutuar na terceira dimensão como uma folha de papel carregada pelo vento, o plano Square só consegue visualizar fatias bidimensionais de Spaceland. Vendo somente as seções transversais de objetos tridimensionais, Square contempla um mundo fantástico em que os objetos podem mudar de forma e até aparecer e evaporar. No entanto, quando ele tenta contar a seus conterrâneos *Flatlanders* as maravilhas que viu em sua visita à terceira dimensão, os Sumos Sacerdotes o tomam por um louco falastrão, sedicioso. Square se torna uma ameaça para os Sumos Sacerdotes porque ousa contestar sua autoridade e sua crença sagrada de que só podem existir duas dimensões.

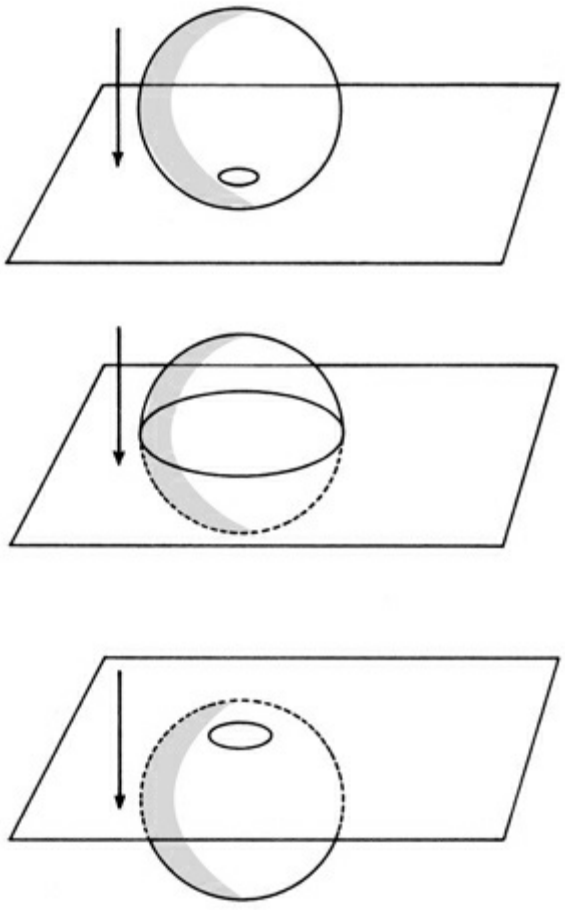


Figura 3.1. Em Flatland, Square encontra Lord Sphere. Em sua passagem por Flatland, Lord Sphere parece ser um círculo que se torna sucessivamente maior e depois menor. Assim, embora não possam visualizar seres tridimensionais, os Flatlanders são capazes de entender suas seções transversais.

O livro termina num tom pessimista. Embora convencido de que realmente visitou o mundo tridimensional de Spaceland, Square é mandado para a prisão e condenado a passar o resto de seus dias em solitário confinamento.

UM JANTAR NA QUARTA DIMENSÃO

O romance de Abbot é importante porque foi a primeira popularização amplamente lida de uma visita a um mundo de dimensões múltiplas. A descrição que ele faz da viagem psicodélica de Square a Spaceland é matematicamente correta. Em relatos populares e nos filmes, a viagem interdimensional através do espaço é frequentemente representada com luzes intermitentes e nuvens escuras em turbilhão. No entanto, a matemática da viagem em dimensões adicionais é muito mais interessante do que imaginam os escritores de ficção. Para visualizar como seria uma viagem interdimensional, imagine arrancar Square de Flatland e jogá-lo no ar. Digamos que, enquanto flutua por nosso mundo tridimensional, ele topa com um ser humano. Como Square nos veria?

Como seus olhos bidimensionais só podem ver fatias planas de nosso mundo, um ser humano lhe pareceria um objeto singularmente feio e assustador. Primeiro, ele poderia ver dois círculos de couro pairando na sua frente (nossos sapatos). Quando é arrastado para cima, esses dois círculos mudam de cor e se transformam em tecido (nossas calças). Depois esses dois círculos se misturam num único (nossa cintura), que se divide em três círculos de tecido mudando novamente de cor (nossa camisa e nossos braços). À medida que ele continua a flutuar para cima, esses três círculos de tecido se fundem num círculo menor de carne (nosso pescoço e cabeça). Finalmente, esse círculo de carne se transforma numa massa de cabelo para em seguida desaparecer abruptamente quando Square estiver flutuando acima de nossas cabeças. Para ele, esses misteriosos “seres humanos” são um amontoado apavorante, enlouquecedor de círculos de couro, tecido, carne e cabelo em constante mutação.

De maneira semelhante, se fôssemos arrancados de nosso universo tridimensional e arremessados na quarta dimensão, constataríamos que o senso comum se torna inútil. Enquanto derivamos através da quarta dimensão, bolhas surgem do nada diante dos nossos olhos. Elas mudam constantemente de cor, tamanho e composição, desafiando todas as regras da lógica do nosso mundo tridimensional. Depois sumiriam no ar, para serem substituídas por outras bolhas adejantes.

Se fôssemos convidados para um jantar na quarta dimensão, como distinguiríamos uma criatura da outra? Teríamos de reconhecê-las pelas diferenças no modo como essas bolhas

mudam. Cada pessoa num espaço hiperdimensional teria suas próprias sequências de bolhas mutantes. Ao cabo de certo tempo, aprenderíamos a distinguir essas criaturas umas das outras, reconhecendo seus padrões distintivos de bolhas e cores cambiantes. Frequentar jantares no hiperespaço pode ser uma experiência exasperante.

LUTA DE CLASSES NA QUARTA DIMENSÃO

O conceito de quarta dimensão penetrou tão completamente o clima intelectual do final do século XIX que até dramaturgos fizeram troça dele. Em 1891, Oscar Wilde escreveu uma sátira sobre essas histórias de fantasma, "The Canterville Ghost", que zomba das proezas de uma certa ingênua "Psychical Society" (uma referência tenuemente velada à Society for Psychical Research de Crookes). Wilde evocou um fantasma resignado que encontra os recém-chegados locatários americanos de Canterville. Escreveu ele: "Evidentemente não havia tempo a perder, assim, adotando precipitadamente a Quarta Dimensão do Espaço como um meio de escapulir, ele [o fantasma] desapareceu através dos lambris e a casa ficou tranquila."

Uma contribuição mais séria para a literatura da quarta dimensão foi a obra de H. G. Wells. Embora seja lembrado principalmente por suas obras de ficção científica, ele foi uma figura dominante na vida intelectual da sociedade londrina, distinguindo-se por suas críticas literárias, resenhas e seu humor penetrante. Em seu romance de 1894, *A máquina do tempo*, Wells combinou vários temas matemáticos, filosóficos e políticos. Popularizou uma nova ideia em ciência – a de que a quarta dimensão poderia também ser vista como tempo, não necessariamente como espaço:[e]

> Claramente... todo corpo real deve ter extensão em *quatro* direções: deve ter Comprimento, Largura, Espessura e – Duração. Mas por causa de uma enfermidade natural da carne... somos propensos a não notar esse fato. Há na realidade quatro dimensões, três que chamamos de as três raias do Espaço, e uma Quarta, Tempo. Há, contudo, uma tendência a inferir uma distinção irreal entre as três primeiras dimensões e a última, porque ocorre que nossa consciência se move intermitentemente numa única direção ao longo da última desde o início até o fim de nossas vidas.[3]

Como *Flatland* antes, o que faz *A máquina do tempo* um livro tão duradouro mesmo depois de passado um século de sua concepção é sua aguda crítica política e social. A Inglaterra do ano 802701, constata o protagonista de Wells, não é a fulgurante cidadela das maravilhas científicas modernas que os positivistas previram. A futura Inglaterra é antes a terra em que a luta de classes perdeu o rumo. A classe trabalhadora é cruelmente forçada a viver às ocultas, até que os trabalhadores se transformem numa espécie nova e estúpida de humanos, os Morlocks, enquanto a classe dominante, com sua devassidão desenfreada, se deteriorava e se convertia na raça inútil dos Eloi, criaturas semelhantes a elfos.

Wells, um proeminente socialista fabiano, estava usando a quarta dimensão para revelar a suprema ironia da luta de classes. O contrato social entre o pobre e o rico enlouquecera por completo. Os inúteis Eloi são alimentados e vestidos pelos labutadores Morlocks, mas a desforra final é dos trabalhadores: os Morlocks comem os Eloi. A quarta dimensão, em outras palavras, vem dar relevo a uma crítica marxista da sociedade moderna, mas com uma peculiaridade nova: a classe trabalhadora não romperá os grilhões dos ricos, como Marx previu. Os trabalhadores comerão os ricos.

Num conto, "The Plattner Story", Wells chegou a brincar com o paradoxo da lateralidade. Gottfried Plattner, um professor de ciências, está realizando um elaborado experimento químico, mas seu experimento explode e o lança em outro universo. Quando ele volta do outro mundo para o mundo real, descobre que seu corpo foi alterado de uma curiosa maneira: seu coração agora está do lado direito e ele se tornou canhoto. Quando seus médicos o examinam, ficam estupefatos ao constatar que todo o corpo de Plattner foi invertido, uma impossibilidade biológica no nosso mundo tridimensional: "A curiosa inversão dos lados direito e esquerdo de Plattner é prova de que ele foi transportado do nosso espaço para a chamada Quarta Dimensão, e de que voltou novamente ao nosso mundo." No entanto, Plattner resiste à ideia de autorizar uma autópsia, adiando com isso "talvez para sempre, a prova positiva de que todo o seu corpo tivera seus lados esquerdo e direito invertidos".

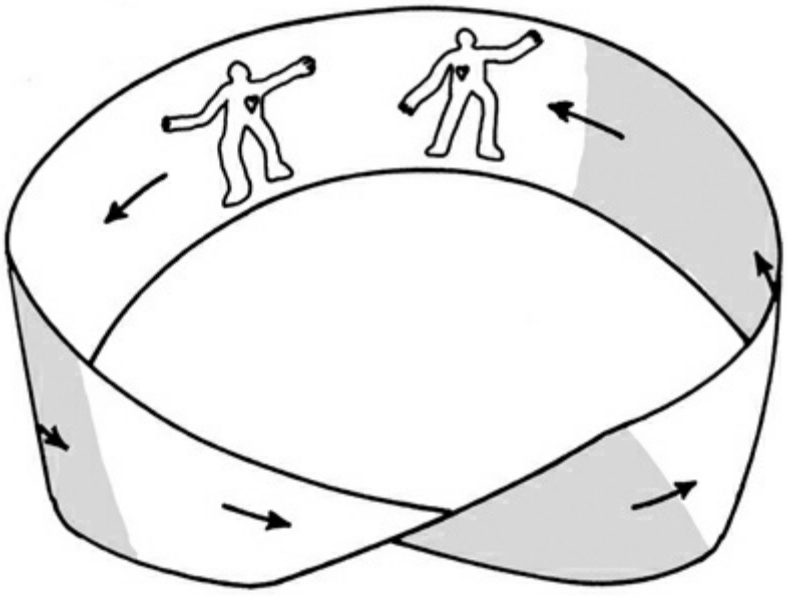


Figura 3.2. Uma fita de Möbius é uma fita com apenas um lado. Suas faces externa e interna são idênticas. Se um chatalandês perambular em volta de uma fita de Möbius, seus órgãos internos serão invertidos.

Wells tinha pleno conhecimento de que há duas maneiras de visualizar a transformação de objetos canhotos em objetos destros. Um chatalandês, por exemplo, pode ser arrancado de seu

mundo, girado e depois posto de volta em Chatalândia, com isso invertendo seus órgãos. Ou o chatalandês pode viver numa fita de Möbius, criada torcendo-se uma tira de papel 180 graus e depois colando as pontas. Se um chatalandês faz a volta completa da fita de Möbius e retorna, constata que seus órgãos foram invertidos (Figura 3.2). As fitas de Möbius têm outras propriedades extraordinárias que fascinaram cientistas ao longo do século XIX. Por exemplo, se você faz a volta completa da sua superfície, descobre que ela só tem um lado. Além disso, se você a cortar ao meio ao longo do seu centro, ela continuará sendo uma só peça. Isto deu origem ao poema humorístico dos matemáticos.

Um matemático segredou
Que uma fita de Möbius tem um lado só
E você vai dar uma boa gargalhada
Se cortá-la pelo meio,
Pois ela continua uma peça só.

Em seu clássico *The Invisible Man*, Wells especulou que um homem poderia até se tornar invisível por meio de algum truque que usasse "uma fórmula, uma expressão geométrica envolvendo quatro dimensões". Wells sabia que um chatalandês desaparece se é retirado do seu universo bidimensional; da mesma maneira, um homem poderia se tornar invisível se pudesse saltar de algum modo para a quarta dimensão.

No conto "The Remarkable Case of Davidson's Eyes", Wells explorou a ideia de que uma "prega no espaço" poderia permitir a um indivíduo ver através de vastas distâncias. Davidson, o herói da história, descobre um dia que tem o perturbador poder de ver eventos que ocorriam numa distante ilha dos Mares do Sul. Essa "prega no espaço" é um empenamento pelo qual a luz dos Mares do Sul atravessa o hiperespaço e penetra seus olhos na Inglaterra. Assim Wells usou os buracos de minhoca de Riemann como artifício literário em sua ficção.

Em *The Wonderful Visit*, Wells explorou a possibilidade de o céu existir num mundo ou dimensão paralelos. A trama gira em torno da situação aflitiva de um anjo que despenca acidentalmente do céu e cai numa aldeia do interior da Inglaterra.

A popularidade da obra de Wells deu origem a um novo gênero de ficção. George McDonald, um amigo do matemático Lewis Carroll, também especulou sobre a possibilidade de o céu estar situado na quarta dimensão. Na fantasia de McDonald, *Lilith*, escrito em 1895, o herói cria uma janela dimensional entre nosso universo e outros mundos pela manipulação de reflexos de espelhos. E na história de 1901, *The Inheritors*, de Joseph Conrad e Ford Madox Ford, uma raça de super-homens da quarta dimensão invade nosso mundo. Cruéis e

insensíveis, esses super-homens começam a assumir o controle do mundo.

A QUARTA DIMENSÃO COMO ARTE

Os anos de 1890 a 1910 podem ser considerados os Anos de Ouro da Quarta Dimensão. Foi a época em que as ideias originadas por Gauss e Riemann permearam os círculos literários, a vanguarda e os pensamentos do público em geral, afetando tendências na arte, literatura e filosofia. O novo ramo da filosofia chamado teosofia foi profundamente influenciado pela ideia de dimensões adicionais.

Por um lado, cientistas sérios lamentaram esse desenvolvimento porque os resultados rigorosos de Riemann estavam agora sendo pervertidos em manchetes de tabloides. Por outro lado, a popularização da quarta dimensão teve um aspecto positivo. Além de tornar os avanços na matemática acessíveis ao grande público, serviu como uma metáfora que pôde enriquecer e fecundar correntes culturais pela troca de ideias.



Figura 3.3. Uma cena da Tapeçaria Bayeux retrata soldados ingleses assustados apontando para uma aparição no céu (o cometa de Halley). As figuras são planas, como na maior parte da arte feita na Idade Média. Isso significava que Deus era onipotente. Assim, as imagens eram traçadas de maneira bidimensional. (Giraudon/Art Resource.)

A historiadora de arte Linda Dalrymple Henderson, em *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*, elabora essa ideia e sustenta que a quarta dimensão influenciou decisivamente o desenvolvimento do cubismo e do expressionismo no mundo da arte. Segundo ela, "foi entre os cubistas que se desenvolveu a primeira e mais coerente teoria da arte baseada nas novas geometrias".[4] Para a vanguarda, a quarta dimensão simbolizou a revolta contra os excessos do capitalismo. Para ela, seu positivismo opressivo e seu materialismo vulgar sufocavam a expressão criativa. Os cubistas, por exemplo, rebelaram-se

contra a insuportável arrogância dos zelotes da ciência, que a seu ver desumanizavam o processo criativo.

A vanguarda se agarrou à quarta dimensão como seu veículo. Por outro lado, a quarta dimensão empurrou as fronteiras da ciência moderna até seu limite. Ela era mais científica do que os cientistas. Ademais, era misteriosa. E a ostentação da quarta dimensão fazia os empertigados positivistas, metidos a sabe-tudo, torcerem o nariz. Em particular, isso tomou a forma de uma revolta artística contra as leis da perspectiva.

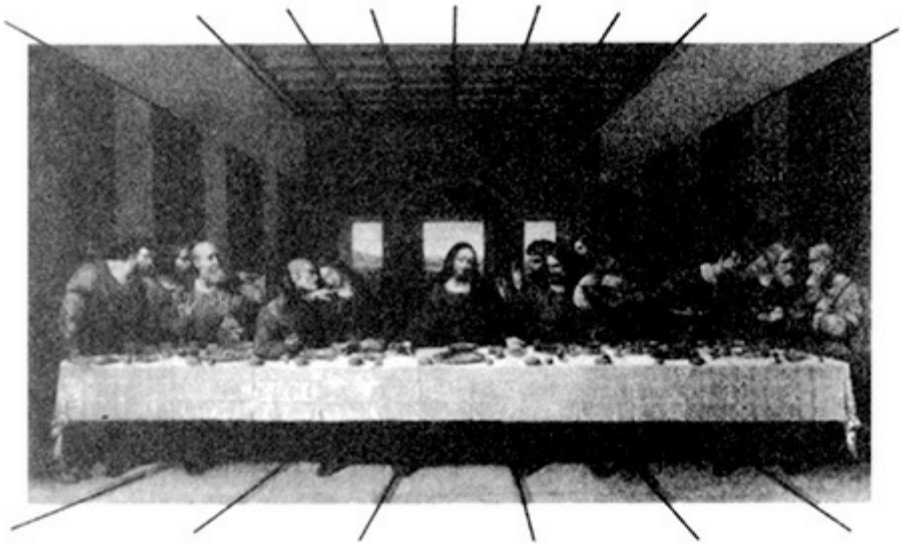


Figura 3.4. Durante o Renascimento, os pintores descobriram a terceira dimensão. As imagens eram pintadas com perspectiva e do ponto de vista de um único olho, não o olho de Deus. Observe que todas as linhas do afresco de Leonardo da Vinci, Última ceia, *convergem para um ponto no horizonte. (Bettmann Archive.)*

Na Idade Média, a arte religiosa se distinguia por sua deliberada falta de perspectiva. Servos, camponeses e reis eram representados como se fossem planos, quase do modo como as crianças desenham pessoas. Essas pinturas refletiam amplamente a visão da Igreja de que Deus era onipotente e podia por isso ver todas as partes do mundo de maneira igual. Como a arte tinha de refletir seu ponto de vista, o mundo era pintado bidimensionalmente. Por exemplo, a famosa Tapeçaria Bayeux (Figura 3.3) retrata os supersticiosos soldados do rei Haroldo II da Inglaterra apontando apavorados para um funesto cometa que desliza no alto em abril de 1066, convencidos de que é um agouro de derrota iminente. (Seis séculos mais tarde, o mesmo cometa seria batizado cometa de Halley.) Em seguida Haroldo perdeu a decisiva Batalha de Hastings para Guilherme o Conquistador, que foi coroado rei da Inglaterra, e um novo capítulo da história inglesa começou. Contudo, a Tapeçaria Bayeux, como outras obras de arte medievais, retrata os braços e as faces dos soldados de Haroldo como chatos, como se uma lâmina de vidro tivesse sido posta sobre seus corpos, comprimindo-os contra a tapeçaria.

A arte do Renascimento foi uma revolta contra essa perspectiva achatada, centrada em

Deus, e a arte centrada no homem começou a florescer, com vastas paisagens e figuras humanas realistas, tridimensionais, pintadas do ponto de vista do olho de uma pessoa. Nos vigorosos estudos de Leonardo da Vinci sobre perspectiva, vemos as linhas de seus esboços desaparecerem num único ponto no horizonte. A arte do Renascimento refletiu o modo como o olho via o mundo, do ponto de vista singular do observador. Nos afrescos de Michelangelo ou no livro de esboços de da Vinci, vemos figuras audaciosas, imponentes, saltando da segunda dimensão. Em outras palavras, a arte do Renascimento descobriu a terceira dimensão (Figura 3.4).

Com o início da era da máquina e do capitalismo, o mundo artístico se revoltou contra o frio materialismo que parecia dominar a sociedade industrializada. Para os cubistas, o positivismo era uma camisa de força que nos confinava ao que podia ser medido no laboratório, suprimindo os frutos de nossa imaginação. Eles perguntavam: por que a arte deve ser clinicamente "realista"? Essa "revolta contra a perspectiva" do cubismo se apossou da quarta dimensão porque ela tocava a terceira dimensão a partir de todas as perspectivas possíveis. Em palavras simples, a arte cubista abraçou a quarta dimensão.

As pinturas de Picasso são um exemplo esplêndido, mostrando uma clara rejeição da perspectiva, com faces de mulheres vistas simultaneamente de vários ângulos. Em vez de um único ponto de vista, as pinturas de Picasso mostram muitas perspectivas, como se fossem pintadas por alguém da quarta dimensão, capaz de ver todas as perspectivas simultaneamente (Figura 3.5).

Certa vez Picasso foi interpelado num trem por um estranho que o reconheceu: por que ele não podia desenhar imagens das pessoas tal como realmente eram? Por que tinha de distorcer a aparência das pessoas? Picasso pediu então ao homem que lhe mostrasse fotografias de sua família. Depois de olhar atentamente o instantâneo, Picasso respondeu: "Ah, sua mulher é realmente tão baixa e chata assim?" Para Picasso, qualquer imagem, por mais "realista" que fosse, dependia da perspectiva do observador.

Os pintores abstratos tentaram não só visualizar os rostos das pessoas como se pintados por um ser quadridimensional, como também tratar o tempo como a quarta dimensão. Na pintura *Nu descendo uma escadaria* de Marcel Duchamp, vemos a representação borrada de uma mulher, com um número infinito de suas imagens superpostas ao longo do tempo à medida que ela desce as escadas. É assim que uma pessoa quadridimensional perceberia as pessoas, vendo todas as sequências de tempo simultaneamente caso o tempo fosse a quarta dimensão.

Em 1937, o crítico de arte Meyer Schapiro resumiu a influência dessas novas geometrias sobre o mundo da arte ao escrever: "Assim como a descoberta da geometria não euclidiana

deu poderoso ímpeto à ideia de que a matemática era independente da existência, também a pintura abstrata cortou pela raiz as ideias clássicas de imitação artística.” Ou, como disse a historiadora de arte Linda Henderson, “a quarta dimensão e a geometria não euclidiana emergem entre os mais importantes temas que unificaram grande parte da arte e da teoria modernas”.[5]

OS BOLCHEVIQUES E A QUARTA DIMENSÃO

A quarta dimensão penetrou também na Rússia czarista através dos escritos do místico P. D. Ouspensky, que introduziu intelectuais russos em seus mistérios. Sua influência foi tão pronunciada que até Fiodor Dostoiévski, em *Os irmãos Karamazov*, faz seu protagonista Ivan Karamazov especular sobre a existência de outras dimensões e geometrias não euclidianas durante uma discussão sobre a existência de Deus.

Em razão dos eventos históricos que se produziram na Rússia, a quarta dimensão iria desempenhar um curioso papel na Revolução Bolchevique. Hoje, esse estranho interlúdio na história da ciência é importante porque Vladimir Lênin iria participar do debate sobre a quarta dimensão, o qual acabaria por exercer poderosa influência sobre a ciência da ex-União Soviética nos setenta anos que se seguiram.[6] (Físicos russos, é claro, desempenharam papéis-chave no desenvolvimento da atual teoria das dez dimensões.)



Figura 3.5. O cubismo foi fortemente influenciado pela quarta dimensão. Por exemplo, tentou ver a realidade através dos olhos de uma pessoa quadridimensional. Um ser como esse, olhando para um rosto humano, veria

todos os ângulos simultaneamente. Portanto, os dois olhos seriam vistos ao mesmo tempo por um ser quadrimensional, como na pintura Retrato de Dora Maar*, de Picasso. (Giraudon/Art Resource. © 1993. Ars, Nova York / Spadem, Paris.)*

Depois que o czar esmagou brutalmente a revolução de 1905, uma facção chamada dos otzovistas, ou "construtores de Deus", se formou no seio do partido bolchevique. Eles sustentavam que os camponeses não estavam prontos para o socialismo; para prepará-los, os bolcheviques deveriam atraí-los por meio da religião e do espiritualismo. Para apoiar suas visões heréticas, os "construtores de Deus" faziam citações da obra do físico e filósofo alemão Ernst Mach, que havia escrito eloquentemente sobre a quarta dimensão e a recente descoberta de uma nova propriedade, sobrenatural, chamada radioatividade. Os "construtores de Deus" ressaltavam que a descoberta da radioatividade pelo cientista francês Henri Becquerel em 1896 e a descoberta do rádio por Marie Curie no mesmo ano haviam inflamado um furioso debate filosófico nos círculos literários franceses e alemães. Parecia que a matéria podia se desintegrar lentamente, e que a energia (na forma de radiação) podia reaparecer.

Os novos experimentos sobre radiação mostraram que, indubitavelmente, os fundamentos da física newtoniana estavam se esboroando. A matéria, que os gregos pensavam ser eterna e imutável, estava agora se desintegrando diante dos nossos olhos. O urânio e o rádio, abalando a crença estabelecida, estavam se alterando no laboratório. Para alguns, Mach era o profeta que os iria retirar da barbárie. No entanto, ele apontava na direção errada, rejeitando o materialismo e declarando que espaço e tempo eram produtos de nossas sensações. Em vão ele escreveu: "Espero que ninguém vá defender histórias de fantasmas com a ajuda do que disse e escrevi sobre este assunto."[7]

Criou-se uma cisão entre os bolcheviques. Seu líder, Vladimir Lênin, ficou horrorizado. Fantasmas e demônios seriam compatíveis com o socialismo? Em 1908, exilado em Genebra, ele escreveu um imenso volume filosófico, *Materialismo e empiriocriticismo*, defendendo o materialismo dialético da violenta investida do misticismo e da metafísica. Para Lênin, o misterioso desaparecimento de matéria e energia não provava a existência de espíritos. Segundo ele isso significava antes que estava emergindo uma *nova dialética* que iria abarcar tanto a matéria quanto a energia. Não mais seria possível vê-las como entidades separadas, como o fizera Newton. Deveriam agora ser consideradas como dois polos de uma unidade dialética. Um novo princípio da conservação fazia-se necessário. (Lênin ignorava que Einstein havia proposto o princípio correto três anos antes, em 1905.) Além disso, Lênin questionou a aceitação pressurosa da quarta dimensão por Mach. Primeiro, Lênin louvou Mach, que "levantou a questão muito importante e útil de um espaço de N-dimensões como um espaço

concebível". Em seguida o censurou por não ter enfatizado que somente as três dimensões do espaço podiam ser verificadas experimentalmente. A matemática pode explorar a quarta dimensão e o mundo do possível, e isso é bom, escreveu Lênin, mas o czar só pode ser derrubado na terceira dimensão![8]

Lutando no campo de batalha da quarta dimensão e da nova teoria da radiação, Lênin precisou de anos para extirpar o otzovismo do partido bolchevique. Acabou contudo por vencer a batalha pouco antes da deflagração da Revolução de Outubro de 1917.

A BIGAMIA E A QUARTA DIMENSÃO

As ideias da quarta dimensão acabaram por cruzar o Atlântico e chegar à América. Seu mensageiro foi um pitoresco matemático inglês chamado Charles Howard Hinton. Enquanto Einstein labutava em sua mesa de trabalho na agência de patentes suíça em 1905, descobrindo as leis da relatividade, Hinton trabalhava na Agência de Patentes dos Estados Unidos em Washington, D.C. Embora eles provavelmente nunca se tenham conhecido, seus caminhos se cruzariam de várias e interessantes maneiras.

Hinton passou toda sua vida adulta obcecado com a ideia de divulgar e visualizar a quarta dimensão. Ele passaria para a história da ciência como o homem que "viu" a quarta dimensão.

Era filho de James Hinton, um renomado cirurgião de ouvido de convicções liberais. Com o passar dos anos, o carismático Hinton pai se transformou num filósofo religioso, um franco defensor do amor livre e da poligamia aberta, e finalmente no líder de um influente culto na Inglaterra. Tinha à sua volta um círculo encarniçadamente leal e devotado de seguidores livres-pensadores. Uma de suas observações mais célebres foi: "Cristo foi o Salvador dos homens, mas eu sou o salvador das mulheres, e não o invejo nem um pouquinho!"[9]

Seu filho Charles, contudo, parecia fadado a levar uma vida respeitável e enfadonha como matemático. Era fascinado não pela poligamia, mas por polígonos! Tendo se graduado por Oxford em 1877, tornou-se um respeitável professor na Uppingham School enquanto trabalhava para obter seu grau de mestre em matemática. Em Oxford, Hinton teve sua curiosidade despertada pela tentativa de visualizar a quarta dimensão. Como matemático, sabia que não se pode visualizar um objeto quadridimensional em sua inteireza. No entanto, ele refletia, é possível visualizar a seção transversal ou o desdobre de um objeto quadridimensional.

Hinton divulgou suas ideias na imprensa popular. Escreveu o influente artigo "What is the Fourth Dimension?" para a *Dublin University Magazine* e a *Cheltenham Ladies' College*

Magazine, reproduzido em 1884 com o capcioso subtítulo "Fantasmas explicados".

A estável vida de Hinton como acadêmico, contudo, sofreu uma brusca reviravolta para pior em 1885, quando ele foi preso por bigamia e levado a julgamento. Anteriormente, Hinton havia se casado com Mary Everest Boole, filha de um membro do círculo de seu pai e viúva do grande matemático George Boole (criador da álgebra booliana). No entanto, teve também filhos gêmeos com uma certa Maude Weldon.

O diretor da Uppingham School, ao ver Hinton na presença de sua mulher, Mary, e da amante, Maude, presumira que Maude era irmã de Hinton. Tudo ia bem para Hinton, até que ele cometeu o erro de se casar com Maude também. Quando o diretor soube que Hinton era bígamo, desencadeou-se um escândalo. Ele foi imediatamente despedido de seu cargo em Uppingham e levado a julgamento por bigamia. Passou três dias na prisão, mas Mary Hinton se recusou a dar queixa e os dois partiram juntos da Inglaterra para os Estados Unidos.

Hinton foi contratado como instrutor no departamento de matemática da Universidade de Princeton, onde sua obsessão pela quarta dimensão foi temporariamente posta de lado quando ele inventou a máquina de beisebol. O time de beisebol de Princeton se beneficiou da máquina de Hinton, que era capaz de arremessar bolas a 112 quilômetros por hora. Descendentes do invento de Hinton podem ser encontrados hoje em todos os grandes campos de beisebol do mundo.

Hinton acabou sendo despedido de Princeton mas conseguiu arranjar um emprego no Observatório Naval dos Estados Unidos graças à influência de seu diretor, um devoto defensor da quarta dimensão. Depois, em 1902, empregou-se na Agência de Patentes em Washington.

OS CUBOS DE HINTON

Hinton passou anos desenvolvendo engenhosos métodos pelos quais pessoas comuns e uma crescente legião de seguidores, e não apenas matemáticos profissionais, podiam "ver" objetos quadridimensionais. Finalmente, aperfeiçoou cubos especiais que, em se tentando com suficiente afinco, podiam permitir a visualização de hipercubos, ou cubos em quatro dimensões, que mais tarde passaram a ser chamados cubos de Hinton. Também o nome oficial para um hipercubo desdobrado, um *tesseract*, palavra que acabou por se incorporar à língua inglesa, foi cunhado por Hinton.

Os cubos de Hinton eram amplamente anunciados nas revistas femininas e até usados em sessões espíritas, em que logo se tornaram objetos de importância mística. Membros da alta

sociedade afirmavam que, meditando sobre os cubos de Hinton, era possível ter vislumbres da quarta dimensão e portanto do mundo dos fantasmas e dos entes queridos já falecidos. Seus discípulos passavam horas contemplando esses cubos e meditando sobre eles, até conquistarem a capacidade de rearranjá-los e remontá-los num hipercubo através da quarta dimensão. Os que eram capazes dessa façanha mental, dizia-se, iriam atingir o estado mais elevado do nirvana.

Como uma analogia, tome um cubo tridimensional. Embora um chatalandês não possa visualizar um cubo em sua inteireza, para nós é possível desdobrar o cubo em três dimensões, de modo a termos uma série de seis quadrados fazendo uma cruz. Evidentemente, um chatalandês não é capaz de remontar os quadrados para compor um cubo. Na segunda dimensão, as junções entre os vários quadrados são rígidas e não podem ser movidas. No entanto, essas junções são facilmente dobráveis na terceira dimensão. Um chatalandês que testemunhasse esse evento veria os quadrados desaparecerem, deixando apenas um único quadrado em seu universo (Figura 3.6).

Da mesma maneira, um hipercubo em quatro dimensões não pode ser visualizado. Mas podemos desdobrar um hipercubo em seus componentes inferiores, que são cubos tridimensionais comuns. Esses cubos, por sua vez, podem ser arranjados numa cruz tridimensional – um *tesseract*, ou hipercubo. É impossível para nós visualizar como esses cubos devem ser dobrados para formar um hipercubo. No entanto, uma pessoa de um mundo com mais dimensões pode "erguer" cada cubo de nosso universo e em seguida dobrar o cubo para formar um hipercubo. (Nossos olhos tridimensionais, testemunhando esse evento espetacular, veriam apenas os outros cubos desaparecerem, deixando um único cubo no nosso universo.) A influência de Hinton foi tão difundida que Salvador Dalí usou o *tesseract* de Hinton em sua famosa pintura *Christus Hypercubus*, em exibição no Metropolitan Museum of Art de Nova York, que retrata Cristo sendo crucificado numa cruz quadridimensional (Figura 3.7).

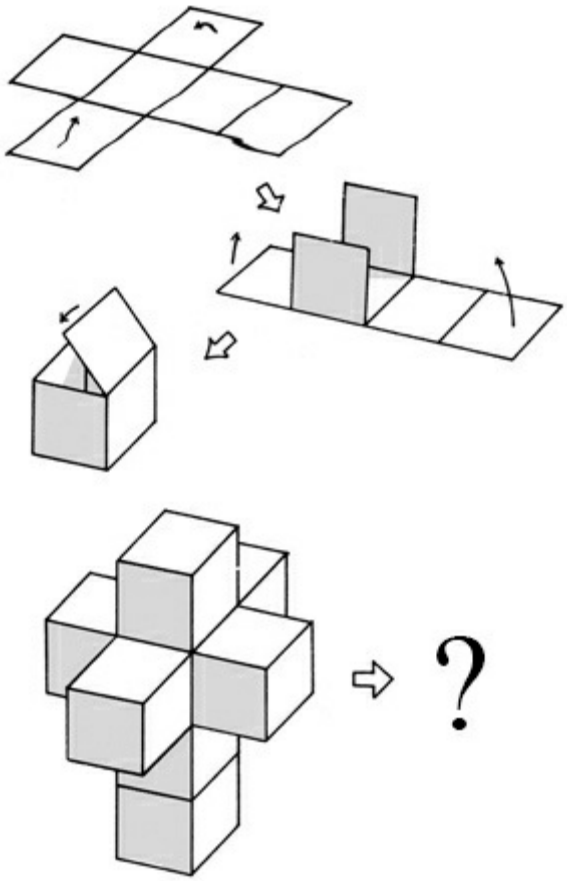


Figura 3.6. Os chatalandeses não são capazes de visualizar um cubo, mas podem conceber um cubo tridimensional desdobrando-o. Para um chatalandês, um cubo, quando desdobrado, se assemelha a uma cruz composta por seis quadrados. Da mesma maneira, não podemos visualizar um hipercubo quadridimensional, mas se o desdobrarmos teremos uma série de cubos arranjados num hipercubo em forma de cruz. Embora os cubos de um hipercubo pareçam imóveis, uma pessoa quadridimensional pode "montar" os cubos num hipercubo.

Hinton conhecia ainda uma segunda maneira de visualizar objetos com mais dimensões: olhando para as sombras que eles projetam em dimensões inferiores. Por exemplo, um chatalandês pode visualizar um cubo olhando para sua sombra bidimensional. Um cubo se parece com dois quadrados unidos. De maneira semelhante, a sombra de um hipercubo projetada na terceira dimensão torna-se um cubo dentro de um cubo (Figura 3.8).

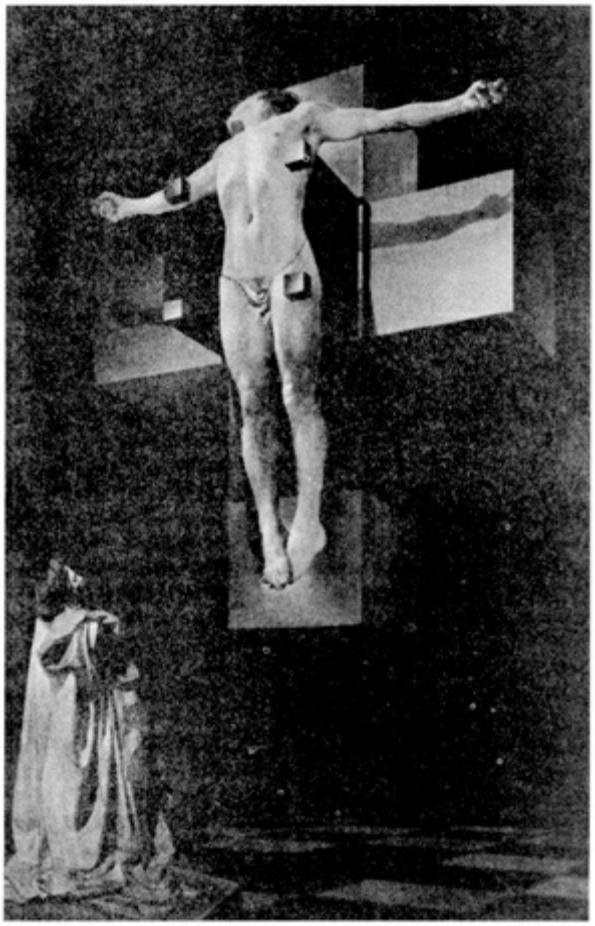


Figura 3.7. Em Christus Hypercubus*, Salvador Dalí representou Cristo sendo crucificado num tesseract, um hipercubo desdobrado. (The Metropolitan Museum of Art. Gift of Chester Dale, Collection, 1955. © 1993. Ars, Nova York/Demart Pro Arte/Genebra.)*

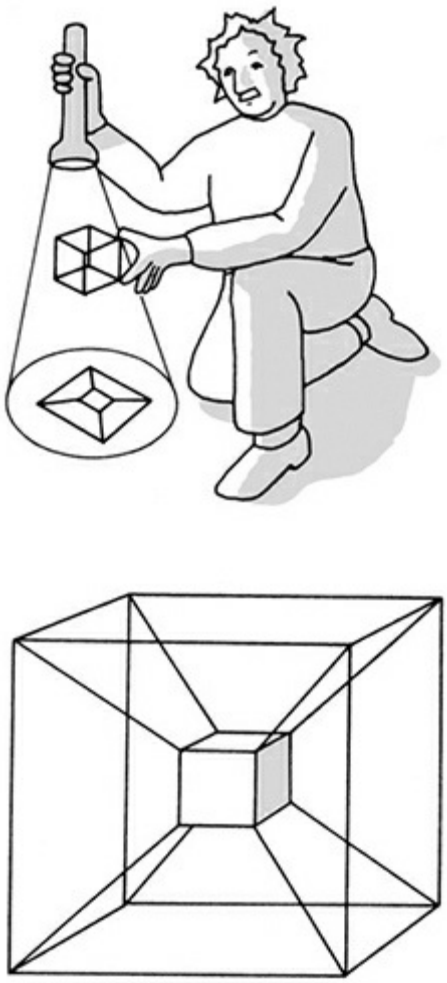


Figura 3.8. Um chatalandês pode visualizar um cubo através do exame de sua sombra, a qual aparece como um quadrado dentro de um quadrado. Se o cubo for rotacionado, os quadrados executarão movimentos que parecerão impossíveis a um chatalandês. Da mesma maneira, a sombra de um hipercubo é um cubo dentro de um cubo. Se o hipercubo for rotacionado em quatro dimensões, o cubo executará movimentos que parecerão impossíveis aos nossos cérebros tridimensionais.

Além de visualizar o desdobramento de hipercubos e examinar suas sombras, Hinton tinha consciência de uma terceira maneira de conceituar a quarta dimensão: por seções transversais. Por exemplo, quando Square é enviado para a terceira dimensão, seus olhos só podem ver seções transversais bidimensionais da terceira dimensão. Assim ele só consegue ver círculos aparecendo, ficando maiores, mudando de cor, e depois desaparecendo de repente. Se Square passasse por uma maçã, veria um círculo vermelho se materializar a partir do nada, expandir-se gradualmente, depois contrair-se, depois se transformar num pequeno círculo marrom (o talo), e finalmente desaparecer. Assim também, Hinton sabia que, se fôssemos arremessados na quarta dimensão, veríamos estranhos objetos aparecer subitamente do nada, ficar maiores, mudar de cor, mudar de forma, ficar menores e finalmente desaparecer.

Em síntese, podemos dizer que a contribuição de Hinton foi sua popularização de figuras hiperdimensionais através de três métodos: pelo exame de suas sombras, de suas seções transversais e de seu desdobramento. Até hoje, esses três métodos são os principais meios

pelos quais matemáticos e físicos profissionais conceituam objetos hiperdimensionais em seu trabalho. Os cientistas cujos diagramas aparecem nas revistas de física de hoje têm uma dívida de gratidão para com o trabalho de Hinton.

O CONCURSO SOBRE A QUARTA DIMENSÃO

Em seus artigos, Hinton tinha respostas para todas as perguntas possíveis. Quando as pessoas lhe pediam para dar um nome à quarta dimensão, respondia que as palavras *ana* e *kata* descreviam o movimento na quarta dimensão e eram as contrapartidas das expressões *para cima* e *para baixo*, ou *esquerda* e *direita*. Quando lhe perguntavam onde era a quarta dimensão, tinha também uma resposta rápida.

Por enquanto, considere o movimento de uma fumaça de cigarro num cômodo fechado. Como os átomos da fumaça, pelas leis da termodinâmica, se espalham e penetram em todos os lugares possíveis do cômodo, podemos determinar se há quaisquer regiões do espaço tridimensional comum que as moléculas da fumaça não atingem. Contudo, observações experimentais mostram que não existem tais regiões ocultas. Portanto, a quarta dimensão espacial só é possível se for menor que as partículas de fumaça. Assim, se a quarta dimensão realmente existe, deve ser incrivelmente pequena, menor até que um átomo. Essa era a filosofia que Hinton adotava, a de que todos os objetos em nosso universo tridimensional existem na quarta dimensão, mas que a quarta dimensão é tão pequena que escapa a qualquer observação experimental. (Veremos que a física adota hoje essencialmente a filosofia de Hinton e conclui que as dimensões mais elevadas são pequenas demais para serem experimentalmente vistas. Quando perguntado, "O que é a luz?", ele também tinha uma resposta imediata. Em conformidade com Riemann, Hinton acreditava que a luz é uma vibração na quarta dimensão invisível, o que é essencialmente o ponto de vista adotado hoje por muitos físicos teóricos.)

Nos Estados Unidos, Hinton, trabalhando sozinho, despertou um enorme interesse pela quarta dimensão. Revistas muito apreciadas como *Harper's Weekly*, *McClure's*, *Current Literature*, *Popular Science Monthly* e *Science* dedicaram todas as páginas ao florescente interesse pela quarta dimensão. Mas provavelmente o que assegurou a fama de Hinton na América foi o famoso concurso patrocinado pela *Scientific American* em 1909. Esse inusitado concurso ofereceu um prêmio de 500 dólares (uma soma considerável em 1909) para "a melhor explicação popular da quarta dimensão". Os editores da revista ficaram agradavelmente surpresos com o dilúvio de cartas que desabou sobre seus escritórios, entre as

quais inscrições vindas de países tão distantes quanto Turquia, Áustria, Holanda, Índia, Austrália, França e Alemanha.

O objetivo do concurso era "expor num ensaio com não mais de 2.500 palavras o significado da expressão de modo que o leitor leigo comum o pudesse compreender". Ele suscitou grande número de ensaios sérios. Alguns lamentaram o fato de que pessoas como Zollner e Slade haviam manchado a reputação da quarta dimensão, confundindo-a com espiritualismo. No entanto, muitos dos ensaios reconheceram o trabalho pioneiro de Hinton sobre a quarta dimensão. (Surpreendentemente, nem um sequer mencionou o trabalho de Einstein. Em 1909, ainda estava muito pouco claro que Einstein revelara o segredo do espaço-tempo. De fato, a ideia de tempo como a quarta dimensão não figurou em um único ensaio.)

Sem verificação experimental, o concurso da *Scientific American* não podia, é claro, decidir a questão da existência de dimensões adicionais. No entanto, o concurso contemplou a questão da aparência que os objetos poderiam ter em maior número de dimensões.

MONSTROS DA QUARTA DIMENSÃO

Como seria encontrar uma criatura de uma dimensão mais alta?

Talvez a melhor maneira de explicar o assombro e o alvoroço causados por uma hipotética visita a outras dimensões seja oferecida pela ficção científica, em que os escritores tentaram enfrentar essa questão.

Em *The Monster from Nowhere*, o escritor Nelson Bond tentou imaginar o que aconteceria se um explorador encontrasse uma besta de uma dimensão mais elevada nas selvas da América Latina.

Nosso herói é Burch Patterson, aventureiro, *bon vivant* e mercenário, que tem a ideia de capturar animais selvagens nas altíssimas montanhas do Peru. A expedição será custeada por vários jardins zoológicos, que levantam o dinheiro para a viagem em troca de quaisquer animais que Patterson possa encontrar. Com muita azáfama e alarido, a imprensa cobre o progresso da expedição à medida que ela avança por território inexplorado. Após algumas semanas, porém, a expedição perde contato com o mundo exterior e desaparece misteriosamente, sem deixar traço. Após uma longa e inútil procura, as autoridades, relutantemente, dão os exploradores por mortos.

Dois anos depois, Burch Patterson reaparece subitamente. Encontra-se em sigilo com repórteres e lhes conta uma assombrosa história de tragédia e heroísmo. Pouco antes de desaparecer, a expedição encontrou um animal fantástico no platô Maratan do alto Peru, uma

criatura sobrenatural em forma de bolha que mudava de forma constantemente da maneira mais esquisita. Essas bolhas pretas pairavam em pleno ar, desaparecendo e reaparecendo, mudando de forma e tamanho. Depois, inesperadamente, as bolhas atacaram a expedição, matando a maior parte dos seus integrantes. As bolhas içaram do chão alguns dos homens que restaram; eles gritaram e em seguida evaporaram.

Somente Burch escapou do tumulto. Embora aturdido e apavorado, ele estudou essas bolhas a distância e gradualmente elaborou uma teoria sobre quem eram e como capturá-las. Ele havia lido *Flatland* anos antes e imaginado que qualquer pessoa que enfiasse os dedos em Flatland e os retirasse alarmaria seus habitantes bidimensionais. Os *Flatlanders* veriam anéis pulsáteis de carne pairando no ar (nossos dedos se enfiando em Flatland), mudando de tamanho constantemente. Da mesma maneira, Patterson raciocinou, qualquer criatura de uma dimensão mais alta que enfiasse o pé ou os braços em nosso universo teria a aparência de bolhas de carne tridimensionais e pulsáteis, surgindo do nada e mudando de forma e de tamanho constantemente. Isso iria explicar também por que seus companheiros haviam desaparecido no ar: haviam sido puxados para um universo com mais dimensões.

Mas uma pergunta continuava a atormentá-lo: como se captura um ser com maior número de dimensões? Se um *Flatlander*, vendo nosso dedo ser enfiado em seu universo bidimensional, tentasse capturá-lo, não saberia como fazê-lo. Se ele tentasse laçar o dedo, poderíamos simplesmente tirar o dedo e desaparecer. Da mesma forma, raciocinou Patterson, ele poderia pôr uma rede em torno de uma das bolhas, mas então a criatura da dimensão mais alta poderia simplesmente puxar seu "dedo" ou "perna" para fora de nosso universo, e a rede cairia no chão. De repente, ele descobriu a resposta: se um *Flatlander* quisesse tentar agarrar nosso dedo quando ele se enfiasse em Flatland, poderia *espetar uma agulha em nosso dedo*, deixando-o entalado no universo bidimensional. Assim a estratégia de Patterson foi enfiar um ferrão numa das bolhas e deixar a criatura entalada no nosso universo!

Depois de observar a criatura durante meses, Patterson identificou o que parecia ser o seu "pé" e traspassou-o com um ferrão. Foram-lhe necessários dois anos para capturar a criatura e despachar a bolha que se debatia, contorcendo-se, para Nova Jersey.

Finalmente, Patterson anuncia uma grande entrevista coletiva à imprensa em que revelaria uma criatura fantástica capturada no Peru. Tanto jornalistas quanto cientistas ficam boquiabertos quando a criatura é posta à mostra, contorcendo-se e debatendo-se contra um grande ferrão de aço. Como numa cena de *King Kong*, um jornalista, contrariando as regras, fotografa a criatura com *flash*. Isso a deixa enfurecida, e ela passa a se debater com tanta força contra o ferrão que sua carne começa a se rasgar. De repente, o monstro se liberta e cria-se um

pandemônio. Alguns ficam em farrapos, Patterson e outros são agarrados pela criatura e em seguida desaparecem na quarta dimensão.

Na esteira da tragédia, um dos sobreviventes do massacre decide queimar todos os vestígios da criatura. O melhor era deixar esse mistério sem solução para sempre.

A CONSTRUÇÃO DE UMA CASA QUADRIDIMENSIONAL

Na seção anterior, foi explorada a questão de o que acontece quando encontramos um ser com maior número de dimensões. Mas que acontece na situação inversa, quando nós visitamos um universo multidimensional? Como vimos, um chatalandês não tem nenhuma possibilidade de visualizar um universo tridimensional em sua inteireza. No entanto, há, como Hinton mostrou, vários modos pelos quais um chatalandês pode compreender fragmentos reveladores de universos com dimensões adicionais.

Em seu conto clássico "... And He Built a Crooked House...", Robert Heinlein explorou as muitas possibilidades de se viver num hipercubo desdobrado.

Quintus Teal é um arquiteto arrogante, empolado, cuja ambição é construir uma casa de formato verdadeiramente revolucionário: um *tesseract*, um hipercubo que foi desdobrado na terceira dimensão. Consegue engabelar seus amigos, Sr. e Sra. Bailey, convencendo-os a comprar a casa.

Construído em Los Angeles, o *tesseract* é uma série de oito cubos ultramodernos empilhados uns sobre os outros na forma de uma cruz. Infelizmente, justo quando Teal está prestes a exibir sua nova criação para os Bailey, um terremoto atinge o sul da Califórnia e a casa desaba sobre si mesma. Os cubos começam a tombar, mas, estranhamente, um único cubo fica de pé. Os outros desapareceram misteriosamente. Quando Teal e os Bailey entram cautelosamente na casa, agora reduzida a um único cubo, ficam pasmos ao ver que os cômodos ausentes são claramente visíveis pelas janelas do primeiro andar. Mas isso é impossível. A casa agora é um único cubo. Como pode o interior de um único cubo estar conectado a uma série de outros cubos que não podem ser vistos pelo lado de fora?

Eles sobem as escadas e encontram o aposento principal acima do vestíbulo. Em vez de encontrar o terceiro andar, contudo, veem-se de volta ao térreo. Pensando que a casa estava assombrada, os Bailey correram para a porta da frente, apavorados. Em vez de levá-los para o exterior, a porta se abria simplesmente para outro cômodo. A Sra. Bailey desmaia.

Ao explorar a casa, descobrem que cada cômodo é conectado a uma impossível série de outros cômodos. Na casa original, cada cubo tinha janelas que davam para o exterior. Agora,

todas as janelas dão para outros cômodos. Não há exterior!

Aterrorizados, eles tentam lentamente todas as portas da casa, só para acabar em outros cômodos. Finalmente, no gabinete, resolvem abrir as quatro venezianas e olhar para fora. Quando abrem a primeira veneziana, constatam que estão olhando para o Empire State Building do alto. Ao que tudo indicava, aquela janela se abria para uma "janela" no espaço bem acima da flecha da torre. Quando abrem a segunda veneziana, veem-se contemplando um vasto oceano, com a diferença de que está invertido. Ao abrir a terceira veneziana, veem-se olhando para o Nada. Não que fosse espaço vazio. Ou negrume de breu. Apenas Nada. Por fim, abrindo a última veneziana, veem-se diante de uma paisagem descampada e desértica, provavelmente uma cena de Marte.

Depois de um angustiante giro pelos cômodos da casa, todos se ligando de maneira impossível uns aos outros, Teal finalmente compreende tudo. O terremoto, ele raciocina, deve ter destruído as junções dos vários cubos e montado a casa na quarta dimensão.[10]

Do lado de fora, a casa de Teal se assemelhava originalmente a uma sequência de cubos comum. A casa não desabou porque as junções entre os cubos eram rígidas e estáveis em três dimensões. No entanto, vista a partir da quarta dimensão, a casa de Teal é um hipercubo desdobrado que pode ser remontado ou redobrado num hipercubo. Assim, quando foi sacudida pelo terremoto, a casa de algum modo se armou em quatro dimensões, deixando apenas um único cubo bamboleando em nossa terceira dimensão. Qualquer pessoa que entrasse no único cubo remanescente veria uma série de cômodos conectados de uma maneira aparentemente impossível. Correndo através dos vários cômodos, Teal se movia através da quarta dimensão sem o perceber.

Embora nossos protagonistas pareçam condenados a passar suas vidas vagando infrutiferamente em círculos dentro de um hipercubo, outro terremoto violento sacode o *tesseract*. Prendendo a respiração, Teal e os aterrorizados Bailey pulam pela janela mais próxima. Chegando ao chão, veem-se finalmente no Joshua Tree National Monument, a quilômetros de Los Angeles. Horas mais tarde, conseguindo uma carona de volta para a cidade, retornam à casa, só para descobrir que o último cubo remanescente desaparecera. Para onde fora o *tesseract*? Provavelmente estava vagando em algum lugar da quarta dimensão.

A INÚTIL QUARTA DIMENSÃO

Em retrospecto, a famosa palestra de Riemann foi divulgada para um vasto público por meio

de místicos, filósofos e artistas, mas pouco contribuiu para promover nosso conhecimento da natureza. Da perspectiva da física moderna, podemos também ver por que os anos de 1860 a 1905 não produziram quaisquer rupturas fundamentais em nossa compreensão do hiperespaço.

Em primeiro lugar, não se fez nenhuma tentativa de usar o hiperespaço para simplificar as leis da natureza. Sem o princípio orientador original de Riemann – de que as leis da natureza se tornam mais simples num maior número de dimensões –, os cientistas estiveram tateando na escuridão durante esse período. A ideia seminal de Riemann de usar a geometria – isto é, espaço amassado – para explicar a essência de uma "força" foi esquecida durante esses anos.

Em segundo lugar, não se fez nenhuma tentativa de explorar o conceito de campo de Faraday ou o tensor métrico de Riemann para encontrar as equações de campo obedecidas pelo hiperespaço. O aparato matemático desenvolvido por Riemann tornou-se um território da matemática pura, ao contrário do que Riemann desejara originalmente. Sem teoria de campo não se pode fazer qualquer previsão com hiperespaço.

Assim, na altura da virada do século, os céticos afirmavam (com razão) que não havia nenhuma confirmação experimental da quarta dimensão. Pior, afirmavam que não havia nenhuma motivação física para a introdução da quarta dimensão, a não ser deleitar o grande público com histórias de fantasmas. Essa situação deplorável, contudo, logo se modificaria. Dentro de algumas décadas, a teoria da quarta dimensão (de tempo) iria mudar para sempre o curso da história humana. Ela iria nos dar a bomba atômica e a própria teoria da Criação. E o homem que faria isso seria um físico obscuro chamado Albert Einstein.

---

d. Não foi surpreendente que um clérigo escrevesse o romance, já que teólogos da Igreja Anglicana estiveram entre os primeiros a mergulhar na rixa gerada pelo julgamento divulgado com sensacionalismo. Por incontáveis séculos, clérigos haviam evitado habilidosamente questões perenes tais como Onde ficam o céu e o inferno? e Onde moram os anjos? Agora encontravam um conveniente lugar de repouso para esses corpos celestiais: a quarta dimensão. O espiritualista cristão A. T. Schofield, em seu livro *Another World*, de 1888, sustentou com extensos argumentos que Deus e os espíritos residiam na quarta dimensão.[1] Para não ficar para trás, em 1893 o teólogo Arthur Willink escreveu *The World of the Unseen*, em que afirmou que era indigno de Deus residir na secundária quarta dimensão. Willink sustentou que o único domínio grandioso o bastante para Deus era o espaço de dimensões infinitas.[2]

e. Wells não foi o primeiro a especular que o tempo podia ser visto como um novo tipo de quarta dimensão, diferente de uma espacial. Jean d'Alembert havia considerado o tempo como a quarta dimensão em seu artigo de 1754, "Dimension".

4

O segredo da luz: vibrações na quinta dimensão

Se [a relatividade] se provar correta, como prevejo, ele será considerado o Copérnico do século XX.
Max Planck sobre Albert Einstein

A vida de Albert Einstein parecia ser uma longa série de fracassos e desapontamentos. Até sua mãe ficou desolada com a sua demora para aprender a falar. Seus professores no curso primário o consideravam um tolo sonhador. Queixavam-se de que estava constantemente rompendo a disciplina da sala de aula com suas perguntas bobas. Um professor chegou a dizer bruscamente ao menino que preferia que ele deixasse de comparecer às suas aulas.

Ele tinha poucos amigos na escola. Perdendo o interesse por suas matérias, deixou de fazer o curso secundário. Sem um diploma do secundário, teve de prestar exames especiais para ingressar na universidade. Mas não conseguiu ser aprovado e teve de prestá-los uma segunda vez. Foi reprovado até no exame para o exército suíço porque tinha pé chato.

Depois da graduação, não conseguia arranjar emprego. Era um físico desempregado que foi preterido para um cargo de professor na universidade e rejeitado em todos os empregos que tentava. Mal ganhava três francos por hora – uma ninharia – dando aulas particulares a estudantes. Ele disse a seu amigo Maurice Solovine que "tocar violino em lugares públicos seria uma maneira mais fácil de ganhar a vida".

Einstein era um homem que rejeitava as coisas a que a maioria dos homens almeja, como poder e dinheiro. No entanto, certa vez ele observou em tom pessimista: "Pela mera existência de seu estômago, todo mundo está condenado a participar dessa busca." Finalmente, graças à influência de um amigo, ele aportou num emprego subalterno como funcionário da agência suíça de patentes em Berna, ganhando apenas o suficiente para que os pais não tivessem de sustentá-lo. Com seu magro salário, sustentava sua jovem esposa e o filho recém-nascido.

Carecendo de recursos financeiros ou de ligações com o *establishment* acadêmico, Einstein começou a trabalhar na solidão de seu escritório de patentes. Entre uma solicitação de patente e outra, sua mente se deixava levar para problemas que o haviam intrigado quando garoto. Empreendeu então uma tarefa que um dia iria mudar o curso da história humana. Sua ferramenta foi a quarta dimensão.

Onde reside a essência do gênio de Einstein? Em *The Ascent of Man*, Jacob Bronowski escreveu: "O gênio de homens como Newton e Einstein reside nisto: eles formulam perguntas transparentes, inocentes, que acabam por ter respostas catastróficas."[1] Quando criança, Einstein fez a si mesmo a pergunta simples: que aparência teria um feixe de luz se você pudesse se emparelhar com um? Será que você veria uma onda estacionária, congelada no tempo? Essa questão o lançou a uma jornada de cinquenta anos através dos mistérios do espaço-tempo.

Imagine-se tentando alcançar um trem num carro em alta velocidade. Se pisarmos fundo no acelerador, nosso carro vai correr emparelhado com o trem. Podemos espiar o interior do trem, que agora parece estar em repouso. Podemos ver os assentos e as pessoas, que estão agindo como se o trem não estivesse se movendo. Da mesma maneira, Einstein quando menino imaginou viajar lado a lado com um feixe de luz. Pensava que o feixe de luz iria se parecer com uma série de ondas estacionárias, congeladas no tempo; isto é, o feixe de luz pareceria imóvel.

Quando tinha 16 anos, Einstein descobriu a falha nesse raciocínio. Mais tarde ele rememorou:

> Após dez anos de reflexão esse princípio resultou de um paradoxo com que eu já havia me deparado aos 16 anos: se persigo um feixe de luz com a velocidade *c* (a velocidade da luz num vácuo) eu deveria observar esse feixe de luz como um campo eletromagnético espacialmente oscilatório em repouso. No entanto, parece não haver tal coisa, seja com base na experiência ou segundo as equações de Maxwell.[2]

Na universidade, Einstein confirmou suas suspeitas. Aprendeu que a luz pode ser expressa em termos dos campos elétrico e magnético de Faraday, e que esses campos obedecem a equações de campo encontradas por James Clerk Maxwell. Como suspeitava, verificou que as equações de campo de Maxwell não admitem ondas estacionárias, congeladas. De fato, Einstein mostrou que um feixe de luz viaja na *mesma* velocidade *c*, por mais que você tente alcançá-lo.

De início isso pareceu absurdo. Significava que nunca conseguiríamos alcançar o trem (feixe de luz). Pior, por mais que acelerássemos nosso carro, o trem iria sempre parecer estar viajando à nossa frente na *mesma* velocidade. Em outras palavras, um feixe de luz é como o "navio fantasma" sobre o qual os velhos marinheiros gostam de inventar histórias. É uma nave fantasma que nunca pode ser alcançada. Por mais rapidamente que naveguemos, o navio fantasma sempre nos escapa, zombando de nós.

Em 1905, dispondo de muito tempo livre em sua agência de patentes, Einstein analisou cuidadosamente as equações de campo de Maxwell e foi levado a postular o princípio da

relatividade especial: a velocidade da luz é a mesma em todos os sistemas de referência movendo-se com velocidades constantes. Esse princípio de aparência tão inocente é um dos maiores feitos do espírito humano. Alguns disseram que ele se equipara à lei da gravitação de Newton, como uma das maiores criações da mente humana nos dois milhões de anos em que nossa espécie esteve se desenvolvendo neste planeta. A partir dele, podemos desvendar logicamente o segredo das vastas energias liberadas pelas estrelas e as galáxias.

Para ver como esse simples enunciado pode levar a tão profundas conclusões, retornemos à analogia do carro que tenta alcançar o trem. Digamos que um pedestre na calçada verifique com um cronômetro que nosso carro está viajando a 159 quilômetros por hora e o trem a 160 quilômetros por hora. Naturalmente, de nosso ponto de vista dentro do carro, vemos o trem se mover à nossa frente a um quilômetro por hora. Isso ocorre porque velocidades podem ser somadas e subtraídas, exatamente como números comuns.

Vamos agora substituir o trem por um feixe de luz, mas mantendo a velocidade da luz em exatamente 160 quilômetros por hora. O cronômetro do pedestre continua indicando que nosso carro viaja a 159 quilômetros por hora, perseguindo de perto o feixe de luz que viaja a 160 quilômetros por hora. Segundo o pedestre, estaríamos nos aproximando do feixe de luz. Contudo, segundo a relatividade, nós, no carro, vemos de fato o feixe viajando à nossa frente, como seria de esperar, mas correndo à nossa frente a 160 quilômetros por hora. Curiosamente, vemos o feixe de luz correr à nossa frente como se estivéssemos em repouso. Sem acreditar em nossos próprios olhos, pisamos no acelerador até que o pedestre registre que nosso carro está correndo a 159,99999 quilômetros por hora. Com certeza, pensamos, devemos estar prestes a alcançar o feixe de luz. No entanto, quando olhamos pela janela, vemos que o feixe de luz continua correndo à nossa frente a 160 quilômetros por hora.

Apreensivos, chegamos a várias conclusões esquisitas e perturbadoras. Primeiro, não importa quanto aceleremos o motor de nosso carro, o pedestre nos diz que podemos nos aproximar, mas nunca exceder os 160 quilômetros por hora. Essa parece ser a velocidade limite do carro. Segundo, por mais que nos aproximemos de uma velocidade de 160 quilômetros por hora, continuamos a ver o feixe de luz correndo à nossa frente a 160 quilômetros por hora, como se nós não estivéssemos nos movendo em absoluto.

Mas isso é absurdo. Como podem tanto as pessoas no carro que corre como a pessoa estacionária medir a mesma velocidade para o feixe de luz? Normalmente, isso é impossível. Parece uma colossal piada da natureza.

Só existe uma maneira de resolver esse paradoxo. Inexoravelmente, somos conduzidos à espantosa conclusão que abalou Einstein até o âmago no momento em que ele a concebeu. A

única solução para esse enigma é que *o tempo se desacelera* para nós no carro. Se o pedestre pegar um telescópio e mirar nosso carro, verá todos lá dentro nos movendo de maneira excepcionalmente lenta. No entanto, nós dentro do carro nunca percebemos que o tempo está se desacelerando, porque nossos cérebros também se desaceleraram e tudo parece normal para nós. Além disso, o pedestre percebe que o carro ficou achatado na direção do movimento. O carro está encolhido como uma sanfona. No entanto, nunca sentimos esse efeito porque nossos corpos também encolheram.

Espaço e tempo nos pregam peças. Em experimentos reais, cientistas mostraram que a velocidade da luz é sempre *c*, seja qual for a velocidade com que viajamos. Isso ocorre porque, quanto mais rapidamente viajamos, mais lentamente nossos relógios avançam e mais curtas ficam as nossas réguas. De fato, nossos relógios ficam mais lentos e nossas réguas encolhem exatamente o bastante para que, sempre que medimos a velocidade da luz, ela se revele a mesma.

Mas por que não podemos ver ou sentir esse efeito? Como nossos cérebros estão pensando mais devagar e nossos corpos estão também ficando mais finos à medida que nos aproximamos da velocidade da luz, permanecemos abençoadamente inconscientes de que estamos nos transformando em panquecas aparvalhadas.

Esses efeitos relativísticos, é claro, são pequenos demais para serem vistos na vida cotidiana, tão grande é a velocidade da luz. Sendo um nova-iorquino, contudo, sou constantemente forçado a me lembrar dessas distorções fantásticas do espaço e tempo quando ando de metrô. Quando estou na plataforma do metrô sem nada para fazer exceto esperar o próximo trem, por vezes deixo minha imaginação vagar e imagino como seria se a velocidade da luz fosse de apenas, digamos, 50 quilômetros por hora, a velocidade de um trem do metrô. Quando o trem finalmente entra com estrépito na estação, ele parece espremido, como uma sanfona. O trem, eu imagino, seria uma lâmina chata de metal com cinco centímetros de espessura, correndo pelos trilhos. E todo mundo dentro dos vagões pareceria fino como papel. Essas pessoas estariam também praticamente congeladas no tempo, como se fossem estátuas imóveis. No entanto, quando o trem finalmente para em meio a rangidos, ele subitamente começa a se expandir, até que a lâmina de metal ocupe toda a estação.

Por mais absurdas que essas distorções possam parecer, os passageiros dentro do trem as ignorariam por completo. Seus corpos e o próprio espaço seriam comprimidos ao longo da direção do movimento do trem; tudo pareceria conservar sua forma normal. Além disso, seus cérebros teriam se tornado mais lentos, de modo que todos dentro do trem agiriam normalmente. Depois, quando o trem do metrô finalmente para, elas não percebem em absoluto

que, para alguém que esteja na plataforma, ele parece expandir-se milagrosamente até ocupar toda a plataforma. Quando os passageiros saem do trem, estão totalmente ignorantes das profundas mudanças exigidas pela relatividade especial.[f]

A QUARTA DIMENSÃO E REUNIÕES DA ESCOLA SECUNDÁRIA

Escreveram-se, é claro, centenas de exposições populares da teoria de Einstein, enfatizando diferentes aspectos de seu trabalho. No entanto, poucas exposições captam a essência subjacente à teoria da relatividade especial, que é a de que o tempo é a quarta dimensão e que as leis da natureza são simplificadas e unificadas em dimensões mais elevadas. A introdução do tempo como a quarta dimensão derrubou o conceito de tempo que remontava a Aristóteles. Espaço e tempo iriam agora estar dialeticamente unidos para sempre pela relatividade especial. (Zollner e Hinton haviam presumido que a próxima dimensão a ser descoberta seria a quarta dimensão espacial. Nesse aspecto, estavam errados e H. G. Wells estava certo. A próxima dimensão a ser descoberta seria o tempo, uma quarta dimensão temporal. O avanço na compreensão da quarta dimensão espacial teria de esperar várias décadas mais.)

Para ver como um maior número de dimensões simplifica as leis da natureza, lembremos que todo objeto tem comprimento, largura e profundidade. Como temos a liberdade de girar um objeto 90 graus, podemos transformar seu comprimento em largura e sua largura em profundidade. Com uma simples rotação, podemos intercambiar quaisquer das três dimensões espaciais. Ora, se o tempo é a quarta dimensão, então é possível fazer "rotações" que convertam espaço em tempo e vice-versa. Essas "rotações" quadridimensionais são precisamente as distorções do espaço e tempo exigidas pela relatividade especial. Em outras palavras, espaço e tempo se misturaram de uma maneira essencial, governada pela relatividade. O significado do tempo como a quarta dimensão é que espaço e tempo podem se transformar um no outro por rotação de uma maneira matematicamente precisa. Doravante, devem ser tratados como dois aspectos da mesma quantidade: espaço-tempo. Essa adição de uma dimensão ajudou a unificar as leis da natureza.

Newton, escrevendo 300 anos atrás, pensava que o tempo bate no mesmo ritmo em todo lugar no universo. Quer estivéssemos na Terra, em Marte ou numa estrela distante, esperava-se que os relógios avançassem na mesma marcha. Pensava-se que a passagem do tempo obedecia a um ritmo absoluto, uniforme no universo em sua totalidade. Rotações entre tempo e espaço eram inconcebíveis. Tempo e espaço eram duas quantidades distintas sem nenhuma relação entre si. Unificá-las numa única quantidade era impensável. No entanto, segundo a

relatividade especial, o tempo pode bater em ritmos diferentes, dependendo da velocidade com que alguém se move. O tempo como a quarta dimensão significa que o tempo está intrinsecamente ligado ao movimento no espaço. A velocidade com que os ponteiros de um relógio avançam depende da velocidade com que o relógio está se movendo no espaço. Experimentos elaborados conduzidos com relógios atômicos postos em órbita ao redor da Terra confirmaram que os ponteiros de um relógio na Terra e os de um relógio lançado no espaço cósmico dentro de um foguete avançam em ritmos diferentes.

Tive uma lembrança gráfica do princípio da relatividade quando fui convidado para minha vigésima reunião da escola secundária. Embora eu não visse a maioria de meus colegas desde a formatura, supus que todos apresentariam os mesmos sinais reveladores da idade. Como era de se esperar, a maioria de nós na reunião ficou aliviada ao constatar que o processo de envelhecimento era universal: parecia que todos nós exibíamos têmporas grisalhas, cinturas em expansão e algumas rugas. Embora estivéssemos separados pelo espaço e tempo por vários milhares de quilômetros e por vinte anos, todos reconhecemos que o tempo havia batido uniformemente para todos. Automaticamente presumimos que todos nós envelheceríamos no mesmo ritmo.

Então minha mente divagou, e imaginei o que aconteceria se um colega de turma adentrasse o salão de reunião com *exatamente* a mesma aparência que tinha no dia da formatura. De início, iria provavelmente atrair olhares espantados dos colegas. Essa era a mesma pessoa que conhecemos vinte anos atrás? Quando todos compreendessem que era, o salão seria tomado pelo pânico.

Ficaríamos chocados com esse encontro porque havíamos suposto tacitamente que os relógios avançam no mesmo ritmo em toda parte, ainda que estejam separados por vastas distâncias. No entanto, se o tempo é a quarta dimensão, espaço e tempo podem rotacionar e se transformar um no outro e relógios podem avançar em ritmos diferentes, dependendo da velocidade com que se movem. Esse colega de classe, por exemplo, pode ter partido num foguete que viajava em velocidades próximas à da luz. Para nós, a viagem do foguete pode ter durado vinte anos. Para ele, contudo, por causa do retardamento do tempo no foguete em alta velocidade, seu envelhecimento desde o dia da formatura foi de apenas alguns minutos. A impressão dele é de que mal acabou de entrar no foguete, de viajar em alta velocidade pelo espaço cósmico durante alguns minutos e depois de desembarcar na Terra a tempo para sua vigésima reunião da escola secundária após uma breve, agradável viagem, ainda parecendo um rapazinho em meio a uma profusão de cabelos grisalhos.

Outra coisa que me faz lembrar de que a quarta dimensão simplifica as leis da natureza é

voltar meu pensamento para meu primeiro encontro com as equações de campo de Maxwell. Todo aluno de graduação que está estudando a teoria da eletricidade e magnetismo pena durante vários anos para dominar essas oito equações abstratas, que são excepcionalmente feias e opacas. As oito equações de Maxwell são desajeitadas e de difícil memorização porque tempo e espaço são tratados separadamente. (Até hoje, preciso procurá-las num livro para me certificar de que inseri todos os sinais e símbolos corretamente.) Ainda me lembro do alívio que senti quando fiquei sabendo que essas equações desabam numa equação de aparência banal quando o tempo é tratado como a quarta dimensão. Como num toque de mágica, a quarta dimensão simplifica essas equações de uma maneira bonita, transparente.[4] Escritas dessa maneira, as equações possuem uma maior *simetria*; isto é, espaço e tempo podem se transformar um no outro. Como um belo floco de neve que permanece o mesmo quando o giramos em torno de seu eixo, as equações de campo de Maxwell, escritas em forma relativística, permanecem as mesmas quando transformamos espaço em tempo.

De maneira impressionante, essa única e simples equação, escrita numa forma relativística, encerra o mesmo conteúdo físico que as oito equações originalmente formuladas por Maxwell há mais de cem anos. Essa única equação, por sua vez, governa as propriedades de dínamos, radar, rádio, televisão, *lasers*, aparelhos eletrodomésticos e a cornucópia de produtos eletrônicos que figuram nas salas de estar de todo o mundo. Essa foi uma das primeiras vezes em que fui exposto ao conceito de *beleza* em física – isto é, a ideia de que a simetria do espaço quadridimensional é capaz de explicar um oceano de conhecimento físico vasto o bastante para encher uma biblioteca de engenharia.

Mais uma vez, isto demonstra um dos principais temas deste livro: a adição de dimensões ajuda a simplificar e unificar as leis da natureza.

A MATÉRIA COMO ENERGIA CONDENSADA

Até então, a discussão em torno da unificação das leis da natureza havia sido bastante abstrata, e assim teria permanecido se Einstein não tivesse dado o passo decisivo seguinte. Ele compreendeu que se espaço e tempo pudessem ser unificados numa única entidade, chamada de espaço-tempo, talvez a matéria e a energia também pudessem ser unidas numa relação dialética. Se réguas podem encolher e relógios se retardar, raciocinou ele, então tudo que medimos com réguas e relógios deve mudar também. No entanto, quase tudo no laboratório de um físico é medido com réguas e relógios. Isso significava que os físicos tinham de recalibrar todas as quantidades laboratoriais que antes viam como certamente constantes.

Especificamente, energia é uma quantidade que depende do modo como medimos distâncias e intervalos de tempo. Um carro de prova em alta velocidade que colide com um muro de alvenaria obviamente tem energia. Se a velocidade do carro se aproxima da velocidade da luz, contudo, suas propriedades ficam distorcidas. Ele encolhe como uma sanfona e relógios no seu interior ficam mais lentos.

Mais importante, Einstein descobriu que a massa do carro também aumenta à medida que sua velocidade cresce. Mas de onde vem esse excesso de massa? Einstein concluiu que vem da energia.

Isso teve consequências perturbadoras. Duas das grandes descobertas da física do século XIX eram a conservação da massa e a conservação da energia; isto é, a massa total e a energia total de um sistema fechado, tomado separadamente, não mudam. Por exemplo, se o carro em alta velocidade bater no muro de alvenaria, sua energia não desaparece, mas é convertida na energia sonora da colisão, na energia cinética dos fragmentos de tijolo que saltam, em energia térmica, e assim por diante. A energia total (e a massa total) antes e depois da batida são as mesmas.

No entanto, Einstein dizia agora que a energia do carro podia ser convertida em massa – um novo princípio de conservação que dizia que a soma total da massa somada à energia deve permanecer sempre a mesma. A matéria não desaparece subitamente, nem a energia surge do nada. A esse respeito, os "construtores de Deus" estavam errados e Lênin estava certo. A matéria só desaparece para liberar enormes quantidades de energia, ou vice-versa.

Quando tinha 26 anos, Einstein calculou precisamente como a energia deveria mudar se o princípio da relatividade estivesse correto e descobriu a relação $E = mc^2$. Como a velocidade da luz ao quadrado (c^2) é um número astronomicamente grande, uma pequena quantidade de matéria pode liberar uma vasta quantidade de energia. Preso dentro das menores partículas de matéria, há um depósito de energia mais de um milhão de vezes maior que aquela liberada numa explosão química. A matéria, em certo sentido, pode ser vista como um depósito quase inesgotável de energia; isto é, matéria é energia condensada.

Sob esse aspecto, vemos a profunda diferença entre o trabalho do matemático (Charles Hinton) e o do físico (Albert Einstein). Hinton passou a maior parte de sua vida adulta tentando visualizar dimensões *espaciais* adicionais. Não teve interesse em encontrar uma interpretação física para a quarta dimensão. Einstein, no entanto, viu que a quarta dimensão pode ser tomada como uma dimensão *temporal*. Ele foi guiado por uma convicção e uma intuição física de que dimensões mais elevadas têm um propósito: unificar os princípios da natureza. Ao acrescentar dimensões, pôde unir conceitos físicos que, num mundo

tridimensional, não têm nenhuma conexão entre si, como matéria e energia.

A partir de então, o conceito de matéria e o de energia seriam tomados como uma só unidade: matéria-energia. O impacto direto do trabalho de Einstein na quarta dimensão foi, é claro, a bomba de hidrogênio, que se provou a mais poderosa criação da ciência do século XX.

"O PENSAMENTO MAIS FELIZ DA MINHA VIDA"

Einstein, contudo, não estava satisfeito. Sua teoria especial da relatividade por si só lhe teria assegurado um lugar entre os gigantes da física. Mas estava faltando alguma coisa.

A intuição-chave de Einstein foi o uso da quarta dimensão para unir as leis da natureza pela introdução de dois novos conceitos: espaço-tempo e matéria-energia. Embora tivesse desvendado alguns dos mais profundos segredos da natureza, percebia a existência de vários grandes buracos em sua teoria. Qual era a relação entre esses dois novos conceitos? Mais especificamente, que dizer das acelerações, que são ignoradas na relatividade especial? E que dizer da gravitação?

Seu amigo Max Planck, o fundador da teoria quântica, sugeriu ao jovem Einstein que o problema da gravitação era difícil demais. Disse-lhe que ele era excessivamente ambicioso: "Como amigo mais velho me vejo no dever de aconselhá-lo contra isso porque para início de conversa você não vai conseguir; e, mesmo que conseguisse, ninguém lhe daria crédito."[5] Einstein, porém, mergulhou de cabeça na busca de desvendar o mistério da gravitação. Mais uma vez, a chave para sua momentosa descoberta foi fazer perguntas que só crianças fazem.

Quando sobem num elevador, as crianças às vezes perguntam, nervosas, "Que acontece se o cabo se partir?" A resposta é que você fica sem peso e flutua dentro do elevador, como se no espaço cósmico, porque tanto você quanto o elevador estão caindo na mesma taxa. Mesmo que você e o elevador estejam acelerando no campo gravitacional da Terra, a aceleração é a mesma para ambos, e por isso parece que você está sem peso no elevador (pelo menos até que este atinja a base do poço).

Em 1907, Einstein compreendeu que uma pessoa que flutua no elevador poderia pensar que alguém desligou misteriosamente a gravidade. Uma vez ele contou: "Eu estava sentado numa cadeira na agência de patentes de Berna quando de repente um pensamento me ocorreu: 'Se uma pessoa cai em queda livre, ela não sentirá seu próprio peso.' Fiquei pasmo. Esse simples pensamento causou em mim uma profunda impressão. Ele me impeliu rumo a uma teoria da gravitação."[6] Einstein iria chamá-lo de "o pensamento mais feliz da minha vida".

Invertendo a situação, constatou que uma pessoa num foguete em aceleração sentiria uma força empurrando-a contra seu assento, como se houvesse uma atração gravitacional se exercendo sobre ela. (De fato, a aceleração sentida por nosso astronauta é rotineiramente medida em unidades de g, isto é, múltiplos da aceleração gravitacional da Terra.) A conclusão a que ele chegou foi que uma pessoa acelerando num foguete em alta velocidade pode pensar que essas forças eram causadas pela gravidade.

A partir desta pergunta de criança, Einstein apreendeu a natureza fundamental da gravitação: *as leis da natureza num sistema de referência acelerado são equivalentes às leis num campo gravitacional*. Embora esse enunciado simples, chamado de o *princípio de equivalência*, possa não significar grande coisa para uma pessoa comum, nas mãos de Einstein, mais uma vez, ele se tornou o fundamento de uma teoria do cosmo.

(O princípio de equivalência fornece também respostas simples para questões físicas complexas. Por exemplo, se estamos segurando um balão de hélio enquanto dirigimos um carro, e o carro dá uma guinada súbita para a esquerda, nossos corpos serão jogados para a direita, mas em que direção o balão vai se mover? O bom senso nos diz que o balão, como nossos corpos, se moverá para a direita. No entanto, a solução correta para essa questão sutil aturdiu até físicos experientes. A resposta é usar o princípio de equivalência. Imagine um campo gravitacional puxando o carro a partir da direita. A gravidade nos fará tombar para a direita, de modo que o balão de hélio, que é mais leve do que o ar e sempre flutua "para cima", em oposição à atração da gravidade, deverá flutuar para a esquerda, na direção da guinada, contrariando o bom senso.)

Einstein explorou o princípio de equivalência para resolver um antigo problema: um feixe de luz é ou não afetado pela gravidade? Comumente, essa questão está longe de ser simples. Através do princípio de equivalência, no entanto, a resposta se torna óbvia. Se acendermos uma lanterna dentro de um foguete em aceleração, o feixe de luz vai se curvar para baixo em direção ao piso (porque o foguete acelerou debaixo do feixe de luz durante o tempo que este leva para se mover pelo compartimento). Portanto, sustentou Einstein, um campo gravitacional vai curvar também a rota da luz.

Einstein sabia que, segundo um princípio fundamental da física, um feixe de luz tomará o caminho que exija a menor quantidade de tempo entre dois pontos. (Este é o chamado princípio de duração mínima de Fermat.) Comumente, o caminho que demanda menos tempo entre dois pontos é uma linha reta, por isso os feixes de luz são retos. (Mesmo quando a luz se curva ao penetrar no vidro, ela continua obedecendo ao princípio de duração mínima. Isto ocorre porque a luz se desacelera no vidro, e o caminho que demanda o menor tempo através

de uma combinação de ar e vidro é agora uma linha curva. É esse princípio, chamado de refração, que está por trás dos microscópios e telescópios.[g]

No entanto, se a luz toma o caminho que demanda menor tempo entre dois pontos, e feixes de luz se curvam sob a influência da gravidade, então a distância mais curta entre dois pontos é uma linha curva. Einstein ficou chocado com essa conclusão: se fosse possível observar a luz se propagando numa linha curva, isso significaria que *o próprio espaço é curvo*.

EMPENAMENTOS DO ESPAÇO

No cerne da crença de Einstein estava a ideia de que seria possível explicar "força" usando pura geometria. Por exemplo, imagine-se andando num carrossel. Todo mundo sabe que se mudamos de cavalo num carrossel, sentimos uma "força" nos puxando quando caminhamos pela plataforma. Como a beirada do carrossel se move mais rapidamente que o centro, segundo a relatividade especial ela deve encolher. No entanto, se a plataforma do carrossel tem agora uma beirada ou circunferência encolhida, a plataforma como um todo deve estar curvada. Para uma pessoa que esteja na plataforma, a luz não viaja mais numa linha reta, como se uma "força" a estivesse empurrando em direção à beirada. Os teoremas usuais da geometria já não vigoram. Assim, a "força" que sentimos enquanto caminhamos de um cavalo para outro num carrossel pode ser explicada como a curvatura do próprio espaço.

Einstein descobriu de forma independente o programa original de Riemann: fornecer uma explicação puramente geométrica do conceito de "força". Como nos lembramos, Riemann usou a analogia dos chatalandeses que viviam numa folha de papel amassada. Para nós, é óbvio que chatalandeses que se movam por uma superfície enrugada serão incapazes de caminhar numa linha reta. Não importa como caminhem, vão sentir uma "força" que os puxa a partir da esquerda e da direita. Para Riemann, a curvatura ou empenamento do espaço causa o aparecimento de uma força. Assim, realmente não existem "forças"; o que está de fato acontecendo é que o próprio espaço está sendo deformado por uma curvatura.

O problema da abordagem de Riemann, contudo, era que ele não tinha nenhuma ideia sobre como especificamente gravidade ou eletricidade e magnetismo causavam o encurvamento do espaço. Sua abordagem era puramente matemática, sem nenhuma representação física concreta do modo preciso como o encurvamento do espaço se produzia. Aqui Einstein foi vitorioso onde Riemann falhou.

Imagine, por exemplo, uma pedra posta sobre um lençol esticado. Obviamente a pedra vai afundar no lençol, criando uma suave depressão. Uma bolinha de gude jogada sobre o lençol

irá então seguir uma trajetória circular ou elíptica em torno da pedra. Uma pessoa que contemple a distância a bola de gude orbitando em torno da pedra pode dizer que uma "força instantânea" está emanando da pedra e alterando a trajetória da bola de gude. No entanto, a uma observação mais atenta, é fácil ver o que realmente está acontecendo: a pedra empenou o lençol e, por conseguinte, a trajetória da bola de gude.

Por analogia, se os planetas orbitam em torno do Sol, isso ocorre porque estão se movendo num espaço que foi encurvado pela presença do Sol. Assim, o motivo por que estamos plantados na Terra, e não sendo arremessados no vácuo do espaço cósmico, é que a Terra está empenando constantemente o espaço à nossa volta (Figura 4.1).

Einstein percebeu que a presença do Sol empena o trajeto da luz desde as estrelas distantes. Essa simples representação física forneceu assim um meio pelo qual a teoria poderia ser experimentalmente testada. Primeiro, medimos a posição das estrelas à noite, quando o Sol está ausente. Depois, durante um eclipse do Sol, medimos a posição das estrelas, quando o Sol está presente (mas não ofusca a luz das estrelas). Segundo Einstein, a posição relativa aparente das estrelas deveria mudar quando o Sol está presente, porque o campo gravitacional do Sol terá curvado a trajetória da luz daquelas estrelas rumo à Terra. Comparando as fotografias das estrelas à noite e a das estrelas durante um eclipse, seria possível testar sua teoria.

Esse quadro pode ser resumido pelo chamado princípio de Mach, o guia que Einstein usou para criar sua teoria geral da relatividade. Lembramos que o arqueamento do lençol era determinado pela presença da pedra. Einstein resumiu essa analogia afirmando: a presença de matéria-energia determina a curvatura do espaço-tempo que a envolve. Esta é a essência do princípio físico que Riemann não conseguiu descobrir: a curvatura do espaço está diretamente relacionada com a quantidade de energia e matéria contida nesse espaço.

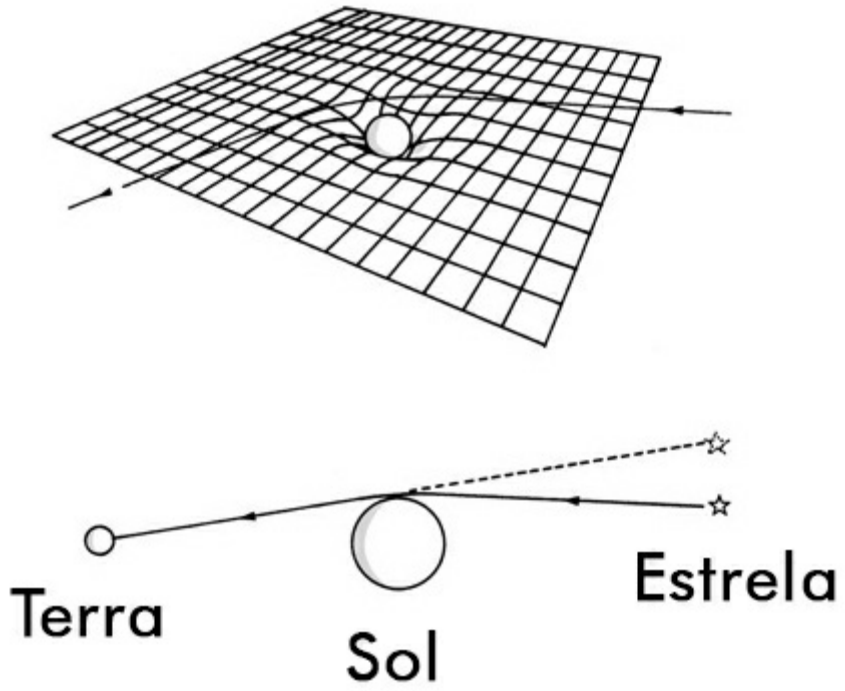


Figura 4.1. Para Einstein, a "gravidade" era uma ilusão causada pelo encurvamento do espaço. Ele previu que a luz das estrelas, ao se mover em torno do Sol, seria curvada, e por isso as posições relativas das estrelas deveriam aparecer distorcidas na presença do Sol. Isso foi verificado por repetidos experimentos.

Isso, por sua vez, pode ser resumido pela famosa equação de Einstein,[7] que essencialmente declara:

Matéria-energia → curvatura do espaço-tempo

em que a seta significa "determina". Esta equação enganosamente curta é um dos mais formidáveis triunfos da mente humana. Dela emergem os princípios subjacentes aos movimentos das estrelas e das galáxias, buracos negros, o Big Bang e, talvez, o próprio destino do universo.

Apesar disso, ainda faltava a Einstein uma peça do quebra-cabeça. Ele havia descoberto o princípio físico correto, mas carecia de um formalismo matemático rigoroso e poderoso o suficiente para expressá-lo. Faltava-lhe uma versão dos campos de Faraday para a gravidade. Ironicamente, Riemann tinha o aparato matemático, mas não o princípio físico norteador. Einstein, em contraposição, descobriu o princípio físico, mas faltava-lhe o aparato matemático.

TEORIA DE CAMPO DA GRAVIDADE

Por ter formulado esse princípio físico sem ter conhecimento de Riemann, Einstein não possuía a linguagem matemática ou a habilidade necessárias para expressar seu princípio.

Passou três longos e frustrantes anos, de 1912 a 1915, na busca desesperada de um formalismo matemático poderoso o bastante para expressar o princípio. Escreveu uma carta desesperada a seu grande amigo, o matemático Marcel Grossman, implorando, "Grossman, você tem de me ajudar, se não eu enlouqueço!"[8]

Felizmente, ao vasculhar sua biblioteca em busca de pistas para os problemas de Einstein, Grossman topou por acaso com a obra de Riemann. Mostrou a Einstein o trabalho de Riemann e seu tensor métrico, que havia sido ignorado pelos físicos durante sessenta anos. Einstein mais tarde se lembraria de que Grossman "passou a literatura em revista e logo descobriu que o problema matemático já havia sido resolvido por Riemann, Ricci e Levi-Civita... A realização de Riemann era a mais impressionante".

Para seu espanto, Einstein descobriu que a célebre palestra feita por Riemann em 1854 era a chave do problema. Constatou que podia incorporar todo o corpo do trabalho de Riemann na reformulação de seu princípio. Quase linha por linha, a grande obra de Riemann encontrou seu verdadeiro lar no princípio de Einstein. Esse foi o trabalho de que Einstein mais se orgulhou, mais até do que de sua célebre equação $E = mc^2$. A reinterpretação física da famosa palestra de Riemann de 1854 é hoje chamada *relatividade geral*, e as equações de campo de Einstein figuram entre as mais profundas ideias na história da ciência.

A notável contribuição de Riemann, como nos lembramos, consistiu na introdução do conceito de tensor métrico, um campo que é definido em todos os pontos no espaço. O tensor métrico não é um número único. Em cada ponto no espaço, ele consiste em um conjunto de dez números. A estratégia de Einstein foi seguir Maxwell e redigir a teoria de campo da gravidade. O objeto de sua busca, um campo para descrever a gravidade, foi encontrado praticamente na primeira página da conferência de Riemann. De fato, o tensor métrico de Riemann era precisamente o campo de Faraday para a gravidade!

Quando são completamente expressas em termos do tensor métrico de Riemann, as equações de Einstein assumem uma elegância nunca antes vista na física. Subrahmanyan Chandrasekhar, contemplado com o prêmio Nobel de Física, uma vez a qualificou como "a mais bela teoria que jamais houve". (De fato, a teoria de Einstein é tão simples e no entanto tão poderosa que os físicos por vezes ficam por entender como pode funcionar tão bem. Victor Weisskopf, físico do MIT, disse uma vez: "É como o camponês que pergunta ao engenheiro como exatamente a máquina funciona. O engenheiro explica ao camponês exatamente para onde o vapor vai e como ele se desloca através da máquina e assim por diante. E então o camponês pergunta: 'Sei, entendi tudo, mas onde está o cavalo?' É assim que me sinto em relação à relatividade geral. Conheço todos os detalhes, entendo para onde o vapor vai, mas

ainda não tenho certeza de que sei onde está o cavalo.")[9]

Em retrospecto, vemos o quanto Riemann esteve perto de descobrir a teoria da gravidade sessenta anos antes de Einstein. Todo o aparato matemático estava estabelecido em 1854. Suas equações eram suficientemente poderosas para descrever a mais complicada torção do espaço-tempo em qualquer dimensão. No entanto, faltavam a Riemann o quadro físico (que matéria-energia determina a curvatura do espaço-tempo) e a aguçada intuição física que Einstein forneceu.

A VIDA NUM ESPAÇO CURVO

Uma vez assisti a um jogo de hóquei em Boston. Toda a ação, é claro, estava concentrada nos jogadores que deslizavam no rinque de gelo. Como a bola estava sendo batida rapidamente de um lado para outro entre os vários jogadores, lembrei-me de como os átomos trocam elétrons quando formam elementos químicos ou moléculas. Percebi que, evidentemente, o rinque de patinação não participava do jogo. Apenas assinalava os vários limites; era uma arena passiva em que os jogadores marcavam pontos.

Em seguida, imaginei como seria se o rinque de patinação participasse ativamente do jogo: que aconteceria se os jogadores fossem forçados a jogar num rinque de gelo que tivesse uma superfície curva, com ondulações e vales escarpados?

O jogo de hóquei ficaria subitamente mais interessante. Os jogadores teriam de patinar por uma superfície curva. A curvatura do rinque iria distorcer seu movimento, agindo com uma "força" que os puxaria para um lado ou para outro. A bola se moveria numa linha sinuosa como uma cobra, tornando o jogo muito mais difícil.

Então decidi dar mais um passo; imaginei que os jogadores eram obrigados a jogar num rinque de patinação com o formato de um cilindro. Se conseguissem gerar velocidade suficiente, eles poderiam patinar de cabeça para baixo e fazer a volta completa do cilindro. Novas estratégias poderiam ser arquitetadas, como emboscar um jogador adversário patinando de cabeça para baixo em torno do cilindro e apanhando-o de surpresa. Uma vez que o rinque foi curvado na forma de um cilindro, o espaço se tornaria o fator decisivo na explicação do movimento da matéria em sua superfície.

Outro exemplo, mais relevante para nosso universo, seria viver num espaço curvo dado por uma hiperesfera, uma esfera em quatro dimensões.[10] Se olharmos para a frente, a luz vai circular completamente em torno do pequeno perímetro da hiperesfera e voltar aos nossos olhos. Assim veremos parada à nossa frente, de costas, uma pessoa que usa as mesmas roupas

que nós. Lançamos um olhar de reprovação à massa de cabelo indisciplinada, desgrenhada na cabeça dessa pessoa e então nos lembramos de que nos esquecemos de pentear o cabelo naquele dia.

Será essa pessoa uma imagem falsa criada por espelhos? Para descobrir, esticamos nossa mão e a pomos sobre o ombro dela. Descobrimos que a pessoa à nossa frente é uma pessoa real, não uma mera cópia. De fato, se olhamos para longe, vemos um número infinito de pessoas idênticas, todas olhando para a frente, todas com a mão no ombro da pessoa em frente.

Mas o mais chocante é que sentimos que a mão de alguém se aproxima sub-repticiamente por trás, e então agarra nosso ombro. Alarmados, olhamos para trás, e vemos outra sequência infinita de pessoas atrás de nós, com os rostos voltados para o outro lado.

Que está realmente acontecendo? Nós, é claro, somos a única pessoa que vive nessa hiperesfera. A pessoa à nossa frente é na realidade nós mesmos. Estamos olhando para nossa própria nuca. Ao pormos a mão à nossa frente, estamos de fato esticando a mão em torno da hiperesfera, até a pormos sobre nosso próprio ombro.

Os efeitos sensacionais e absurdos possíveis numa hiperesfera são fisicamente interessantes porque muitos cosmólogos acreditam que nosso universo é na realidade uma grande hiperesfera. Há também outras topologias igualmente estranhas, como hiper-rosquinhas e fitas de Möbius. Embora possam no fim das contas não ter nenhuma aplicação prática, elas ajudam a ilustrar muitas das características da vida no hiperespaço.

Por exemplo, suponhamos que estamos vivendo numa hiper-rosquinha. Se olharmos para nossa esquerda ou direita, veremos, para nosso grande espanto, uma pessoa de cada lado. A luz faz a volta completa em torno do perímetro maior da rosquinha e retorna a seu ponto de partida. Assim, se viramos nossa cabeça e olharmos para a esquerda, vemos o lado direito do corpo de alguém. Virando nossas cabeças para o outro lado, vemos o lado esquerdo de alguém. Por mais rapidamente que viremos a cabeça, as pessoas à nossa frente e a nossos dois lados virarão as suas com igual rapidez, e nunca conseguiremos ver seus rostos.

Agora imagine que estendemos os dois braços de lado. Tanto a pessoa da esquerda quanto a da direita estenderão igualmente seus braços. De fato, se você estiver perto o bastante, poderá agarrar as mãos esquerda e direita das pessoas de ambos os lados. Se você olhar com cuidado nas duas direções, poderá ver uma linha reta e infinitamente longa de pessoas, todas se dando as mãos. Se olhar para a frente, haverá uma outra sequência infinita de pessoas paradas diante de você, dispostas numa linha, todas se dando as mãos.

Que está realmente acontecendo? Na verdade, nossos braços são longos o suficiente para

fazer a volta da rosquinha, até se encontrarem. Assim, de fato nossas próprias mãos se agarraram (Figura 4.2)!

Agora começamos a ficar cansados dessa charada. Essas pessoas parecem estar zombando de nós: são macacos de imitação, fazendo exatamente o que fazemos. Ficamos irritados – assim, pegamos um revólver e o apontamos para a pessoa à nossa frente. Um instante antes de puxar o gatilho, perguntamos a nós mesmos: será essa pessoa uma falsa imagem especular? Se for, a bala vai atravessá-la diretamente. Mas, se não, a bala fará a volta completa do universo e nos atingirá por trás. Talvez disparar um revólver neste universo não seja uma ideia assim tão boa!

Para um universo ainda mais fantástico, imagine viver numa fita de Möbius, que é como uma longa tira de papel torcida 180 graus, tendo depois suas pontas coladas numa fita circular. Quando um chatalandês destro faz a volta completa da fita de Möbius, ele descobre que virou canhoto. As orientações são invertidas quando se viaja em torno do universo. É como em *The Plattner Story*, de H. G. Wells, em que o herói retorna à Terra depois de um acidente para descobrir que seu corpo está completamente invertido; por exemplo, seu coração está do lado direito.

Se vivêssemos numa hiperfita de Möbius, e olhássemos para a frente, veríamos a nuca de alguém. De início, não pensaríamos que poderia ser nossa própria nuca, porque a risca do cabelo estaria do lado errado. Se esticássemos nossa mão direita e a puséssemos no seu ombro, a outra pessoa levantaria sua mão esquerda e a poria sobre o ombro da pessoa à sua frente. De fato, veríamos uma infinita cadeia de pessoas com as mãos nos ombros das outras, com o detalhe de que as mãos se alternariam entre o ombro esquerdo e o direito.

Se deixássemos alguns amigos num ponto e caminhássemos, fazendo a volta completa desse universo, descobriríamos que havíamos retornado ao nosso ponto original. Nossos amigos, porém, ficariam chocados por constatar que nosso corpo estaria invertido. A risca do cabelo e os anéis nos nossos dedos estariam do lado errado, e nossos órgãos internos teriam sido invertidos. Nossos amigos ficariam pasmos com a inversão de nosso corpo e perguntariam se estamos nos sentindo bem. De fato, estaríamos nos sentindo perfeitamente normais; para nós, nossos amigos é que teriam sido completamente invertidos! Seguir-se-ia então uma discussão em torno de quem fora realmente invertido.

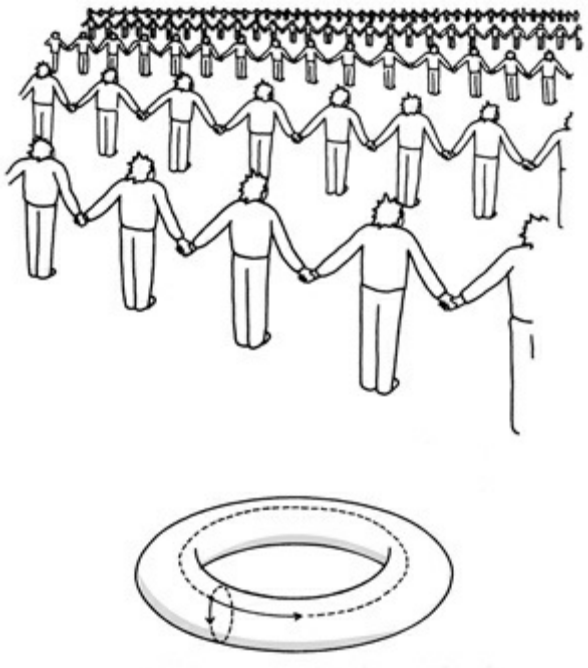


Figura 4.2. Se vivêssemos numa hiper-rosquinha, veríamos uma sucessão infinita de nós mesmos repetidos à nossa frente, às nossas costas e aos nossos lados. Isso ocorre porque a luz pode viajar de duas maneiras em volta da rosquinha. Se damos as mãos às duas pessoas a nosso lado, estamos na realidade segurando nossas próprias mãos; isto é, nossos braços estão na verdade fazendo a volta da rosquinha.

Estas e outras interessantes possibilidades se abrem quando vivemos num universo em que espaço e tempo são curvos. Não mais uma arena passiva, o espaço se torna um ator ativo no drama que se desdobra em nosso universo.

Em resumo, vimos que Einstein completou o programa iniciado por Riemann sessenta anos antes: usar dimensões adicionais para simplificar as leis da natureza. Einstein, no entanto, foi além de Riemann em vários aspectos. Como Riemann antes dele, Einstein compreendeu de maneira independente que "força" é uma consequência da geometria, mas, diferentemente de Riemann, ele conseguiu encontrar o princípio físico subjacente a essa geometria, a saber, que a curvatura do espaço-tempo se deve à presença de matéria-energia. Einstein, também como Riemann, sabia que a gravitação pode ser descrita por um campo, o tensor métrico, mas foi capaz de encontrar as equações de campo precisas a que esses campos obedecem.

UM UNIVERSO FEITO DE MÁRMORE

Em meados da década de 1920, com o desenvolvimento da relatividade tanto especial quanto geral, o lugar de Einstein na história da ciência já estava assegurado. Em 1921, astrônomos haviam verificado que a luz estelar se curva ao se propagar nas proximidades do Sol, precisamente como Einstein havia previsto. Nessa altura, Einstein estava sendo celebrado como o sucessor de Isaac Newton.

Ele próprio, contudo, ainda não estava satisfeito. Iria tentar uma última vez produzir uma

outra teoria da mais alta significação. Mas fracassou nessa terceira tentativa. A realização de sua terceira e definitiva teoria devia ter sido o coroamento de sua vida. Ele estava em busca da "teoria de tudo", uma teoria que iria explicar todas as forças conhecidas encontradas na natureza, entre elas a luz e a gravidade. Ele cunhou um nome para essa teoria: *teoria unificada de campo*. Lamentavelmente, sua busca de uma teoria unificada da luz e da gravidade foi infrutífera. Ao morrer, Einstein deixou apenas as ideias inacabadas de vários manuscritos em sua escrivaninha.

Ironicamente, a fonte da frustração de Einstein foi a estrutura de sua própria equação. Durante trinta anos, ele foi perturbado por uma falha fundamental nessa formulação. De um lado da equação havia a curvatura do espaço-tempo, que ele comparava a "mármore" por causa de sua bela estrutura geométrica. Para Einstein, a curvatura do espaço-tempo era como o epítome da arquitetura grega, bela e serena. No entanto, ele detestava o outro lado de sua equação, que descrevia matéria-energia, o qual lhe parecia feio e ele comparava a "madeira". Enquanto o "mármore" do espaço-tempo era polido e elegante, a "madeira" do espaço-tempo era uma horrível mixórdia de formas confusas, aparentemente aleatórias, de partículas subatômicas, átomos, polímeros e cristais até pedras, árvores, planetas e estrelas. Nas décadas de 1920 e 1930, quando Einstein estava trabalhando ativamente em sua teoria unificada de campo, a verdadeira natureza da matéria permanecia um mistério não decifrado.

A magnífica estratégia de Einstein foi transformar madeira em mármore – isto é, dar uma origem completamente geométrica à matéria. Mas sem outras pistas físicas e uma compreensão física mais profunda da madeira, isso era impossível. Por analogia, pense numa esplêndida árvore retorcida crescendo no meio de um parque. Em torno dessa árvore acinzentada, arquitetos construíram uma praça calçada com os mais belos pedaços do mais puro mármore. Os arquitetos reuniram cuidadosamente os pedaços de mármore para que formassem um deslumbrante padrão floral com trepadeiras e raízes emanando da árvore. Para parafrasear o princípio de Mach: a presença da árvore determina o padrão do mármore à sua volta. Mas Einstein detestava essa dicotomia entre madeira, que parecia feia e complicada, e mármore, que era simples e puro. *Seu sonho era transformar a árvore em mármore*; teria gostado de ter uma praça completamente feita de mármore, com uma bela e simétrica árvore de mármore no centro.

Em retrospecto, podemos provavelmente identificar o erro de Einstein. Lembramos que as leis da natureza se simplificam e se unificam num maior número de dimensões. Corretamente, Einstein aplicou esse princípio duas vezes, na relatividade especial e na geral. No entanto, nessa terceira tentativa, ele abandonou esse princípio fundamental. Sabia-se muito pouco

sobre a estrutura da matéria atômica e nuclear em sua época; em consequência, não estava claro de que modo se podia usar o espaço com dimensões adicionais como princípio unificador.

Às cegas, Einstein tentou várias abordagens puramente matemáticas. Ao que parece, pensava que a "matéria" podia ser concebida como dobraduras, vibrações ou distorções do espaço-tempo. Nesse quadro, a matéria era uma distorção concentrada do espaço. Em outras palavras, tudo que vemos à nossa volta, das árvores e nuvens até as estrelas no céu, era provavelmente uma ilusão, alguma forma de amarrotamento do hiperespaço. No entanto, sem mais nenhuma orientação sólida ou dados experimentais, sua ideia o levou a um beco sem saída.

O passo seguinte seria deixado para um obscuro matemático, que nos conduziria à quinta dimensão.

O NASCIMENTO DA TEORIA KALUZA-KLEIN

Em abril de 1919, Einstein recebeu uma carta que o deixou sem fala.

Era de um matemático desconhecido, Theodr Kaluza, da Universidade de Königsberg, na Alemanha, na cidade chamada Kaliningrado na antiga União Soviética. Num artigo curto, de apenas algumas páginas, esse obscuro matemático estava propondo uma solução para um dos maiores problemas do século. Em poucas linhas, Kaluza estava unindo a teoria da gravidade de Einstein com a teoria da luz de Maxwell, introduzindo a *quinta* dimensão (isto é, quatro dimensões de espaço e uma dimensão de tempo).

Em essência, estava ressuscitando a velha "quarta dimensão" de Hinton e Zollner e incorporando-a à teoria de Einstein de uma maneira nova, como a quinta dimensão. Como Riemann antes dele, Kaluza pressupôs que a luz é uma perturbação causada pelo encrespamento dessa dimensão adicional. A diferença-chave que separava este novo trabalho dos de Riemann, Hinton e Zollner era que Kaluza estava propondo uma genuína teoria de campo.

Nessa curta nota, Kaluza começou, de maneira bastante inocente, escrevendo as equações de campo de Einstein para a gravidade em cinco dimensões, não nas quatro usuais. (O tensor métrico de Riemann, como lembramos, pode ser formulado em qualquer número de dimensões.) Passou então a mostrar que essas equações pentadimensionais continham em si a teoria quadridimensional anterior de Einstein (o que seria de esperar) com uma parte adicional. Mas o que chocou Einstein foi que essa parte adicional era precisamente a teoria da

luz de Maxwell. Em outras palavras, aquele cientista desconhecido estava propondo combinar, de um só golpe, as duas mais extraordinárias teorias de campo conhecidas pela ciência, a de Maxwell e a de Einstein, misturando-as na quinta dimensão. Essa era uma teoria feita de puro mármore – isto é, pura geometria.

Kaluza havia descoberto a primeira pista importante para a transformação de madeira em mármore. Na analogia do parque, lembramos que a praça de mármore é bidimensional. A observação de Kaluza era que poderíamos construir uma "árvore" de mármore se pudéssemos transportar os pedaços de mármore *para cima*, rumo à terceira dimensão.

Para o leigo em geral, luz e gravidade nada têm em comum. Afinal, a luz é uma força conhecida que se manifesta numa espetacular variedade de cores e formas, ao passo que a gravidade é invisível e mais distante. Na Terra, foi a força eletromagnética, não a gravidade, que nos auxiliou a domar a natureza; é a força eletromagnética que move nossas máquinas, eletrifica nossas cidades, faz brilhar nossos letreiros a néon e ilumina nossos aparelhos de televisão. A gravidade, em contraposição, opera numa escala maior; é a força que guia os planetas e impede que o Sol sofra uma explosão. É uma força cósmica que permeia o universo e aglutina nosso sistema solar. (Juntamente de Weber e Riemann, um dos primeiros cientistas que buscou ativamente um vínculo entre luz e gravidade no laboratório foi o próprio Faraday. O aparato experimental usado por Faraday para medir o vínculo entre essas duas forças ainda pode ser visto na Royal Institution em Piccadilly, Londres. Embora tenha fracassado em encontrar experimentalmente algum tipo de conexão entre as duas forças, Faraday estava convencido do poder da unificação. Ele escreveu: "Se a esperança [da unificação] vier a se provar bem fundamentada, quão magnífica, poderosa e sublime em seu caráter doravante imutável é a força com que estou tentando lidar, e quão vasto pode ser o novo domínio de conhecimento que pode ser aberto à mente do homem.")[11]

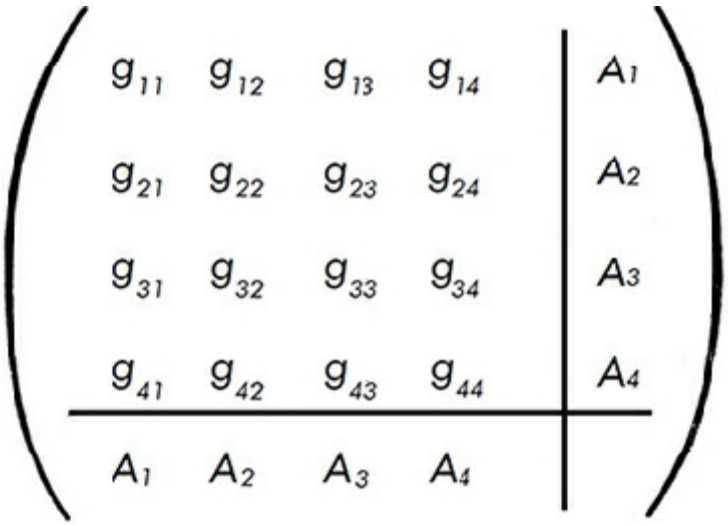
Mesmo matematicamente, luz e gravidade são como óleo e água. A teoria de campo da luz de Maxwell requer quatro campos, enquanto a teoria métrica da gravidade de Einstein requer dez. No entanto, o artigo de Kaluza era tão elegante e atraente que Einstein não o pôde rejeitar.

À primeira vista, parecia um truque matemático barato simplesmente expandir o número das dimensões do espaço e tempo de quatro para cinco. Isso ocorria porque, como nos lembramos, não havia nenhum indício experimental da quarta dimensão espacial. O que assombrou Einstein foi que, uma vez que a teoria de campo pentadimensional era decomposta numa teoria de campo quadridimensional, tanto as equações de Maxwell quanto as dele próprio, Einstein, permaneciam. Em outras palavras, Kaluza fora capaz de juntar as duas peças do quebra-cabeça porque ambas eram parte de um todo maior, um espaço

pentadimensional.

A “luz” estava emergindo como o empenamento da geometria do espaço com maior número de dimensões. Essa era a teoria que parecia realizar o velho sonho de Riemann e explicar forças como o amassamento de uma folha de papel. Em seu artigo, Kaluza sustentava que sua teoria, que sintetizava as duas teorias mais importantes até aquele momento, possuía uma “unidade formal praticamente insuperável”. Além disso, insistia que a simplicidade e a beleza puras de sua teoria não poderiam “equivaler ao mero jogo sedutor de um acidente caprichoso”.[12] O que pasmou Einstein foi a audácia e a simplicidade desse artigo. Como todas as grandes ideias, o raciocínio essencial de Kaluza era elegante e compacto.

A analogia com a junção das peças de um quebra-cabeça é significativa. Lembre-se de que a base do trabalho de Riemann e de Einstein é o tensor métrico – isto é, um conjunto de dez números definidos em cada ponto no espaço. Isso foi uma generalização natural do conceito de campo de Faraday. Na Figura 2.2, vimos como esses dez números podem ser arranjados como nas casas de um tabuleiro de xadrez com dimensões 4 x 4. Podemos denotar esses dez números como g_{11}, g_{12}, ... Além disso, o campo de Maxwell é um conjunto de quatro números definidos em cada ponto no espaço. Esses quatro números podem ser representados pelos símbolos A_1, A_2, A_3, A_4.



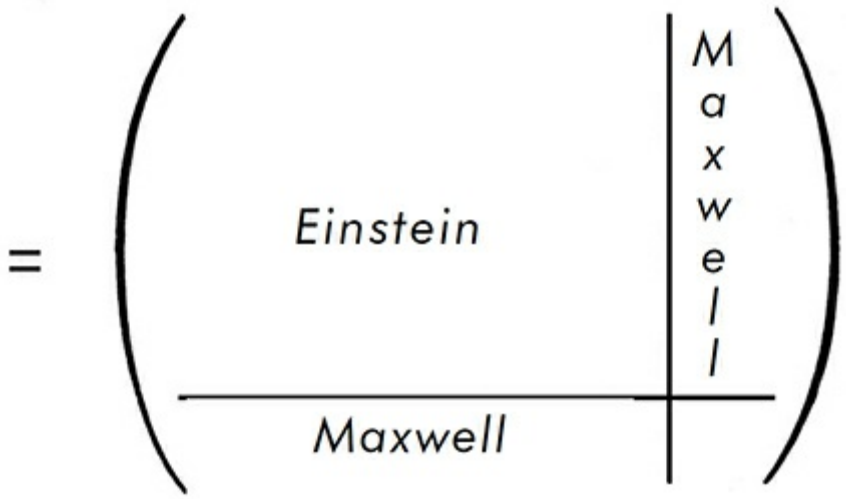


Figura 4.3. A brilhante ideia de Kaluza foi escrever a métrica de Riemann em cinco dimensões. A quinta coluna e fileira são identificadas como o campo eletromagnético de Maxwell, ao passo que o bloco 4 x 4 restante é a velha métrica quadridimensional de Einstein. De um só golpe, Kaluza unificou a teoria da gravidade com a da luz, mediante o mero acréscimo de uma dimensão.

Para compreender o truque de Kaluza, comecemos pela teoria em cinco dimensões de Riemann. Nela o tensor métrico pode ser arranjado num tabuleiro de xadrez de 5 x 5. Agora, por definição, vamos renomear os componentes do campo de Kaluza, de modo que alguns deles se tornem o campo original de Einstein e alguns o campo de Maxwell (Figura 4.3). Esta é a essência do truque de Kaluza, que pegou Einstein totalmente de surpresa. Simplesmente acrescentando o campo de Maxwell ao de Einstein, Kaluza foi capaz de reagrupá-los num campo pentadimensional.

Observe que há "espaço suficiente" dentro dos 15 componentes da gravidade pentadimensional de Riemann para acomodar tanto os dez componentes do campo de Einstein quanto os quatro componentes do campo de Maxwell! Assim a brilhante ideia de Kaluza pode ser sintetizada como

$$15 = 10 + 4 + 1$$

(o componente restante é uma partícula escalar, sem importância para a nossa discussão). Quando analisamos cuidadosamente a teoria pentadimensional completa, verificamos que o campo de Maxwell é primorosamente incluído no tensor métrico de Riemann, exatamente como Kaluza afirmou. Essa equação de aspecto inocente sintetizou uma das ideias seminais do século.

Em resumo, o tensor métrico pentadimensional incluiu tanto o campo de Maxwell quanto o tensor métrico de Einstein. Parecia inacreditável a Einstein que uma ideia tão simples pudesse explicar as duas forças mais fundamentais da natureza: gravidade e luz.

Era só uma mágica de salão? Ou numerologia? Ou magia negra? Einstein ficou profundamente abalado com a carta de Kaluza e, de fato, se recusou a encaminhar o artigo. Ruminou sobre a carta durante dois anos, um tempo inusitadamente longo para alguém adiar a publicação de um artigo importante. Finalmente, convencido de que o artigo era potencialmente importante, apresentou-o para publicação na *Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften*. Ele trazia o imponente título "Sobre o problema da unidade da física".

Na história da física, ninguém havia encontrado qualquer uso para a quarta dimensão espacial. Desde Riemann, era sabido que a matemática de dimensões adicionais era de uma beleza de tirar o fôlego, mas sem aplicação física. Pela primeira vez, alguém havia encontrado um uso para a quarta dimensão espacial: unir as leis da física! Em certo sentido, Kaluza estava propondo que as quatro dimensões de Einstein eram "pequenas demais" para acomodar tanto a força eletromagnética quanto a gravitacional.

Historicamente, podemos ver também que o trabalho de Kaluza não era totalmente inesperado. A maioria dos historiadores da ciência, quando fazem alguma menção ao trabalho de Kaluza, diz que a ideia de uma quinta dimensão foi um salto imprevisto, totalmente inesperado e original. Dada a continuidade da pesquisa física, esses historiadores ficam pasmos ao descobrir uma nova abordagem à ciência se abrindo sem nenhum precedente histórico. Mas seu espanto se deve provavelmente à sua pouca familiaridade com o trabalho não científico dos místicos, dos homens de letras e da vanguarda. Um olhar mais atento para o contexto cultural e histórico mostra que o trabalho de Kaluza não foi um desenvolvimento tão inesperado. Como vimos, por causa de Hinton, Zollner e outros, a possível existência de dimensões múltiplas foi talvez a ideia quase científica isolada mais popular que circulou nas artes. Desse ponto de vista cultural mais amplo, era apenas uma questão de tempo antes que algum físico considerasse a sério a ideia amplamente difundida de Hinton de que a luz é uma vibração da quarta dimensão espacial. Nesse sentido, o trabalho de Riemann polinizou o mundo das artes e das letras através de Hinton e Zollner, e depois provavelmente polinizou de volta por cruzamento o mundo da ciência através do trabalho de Kaluza. (Em apoio a esta tese, foi revelado recentemente por Freund que Kaluza não foi de fato o primeiro a propor uma teoria pentadimensional da gravidade. Gunnar Nordstrom, um rival de Einstein, publicou de fato a primeira teoria de campo pentadimensional, mas ela era primitiva demais para incluir as teorias tanto de Einstein quanto de Maxwell. O fato de Kaluza e Nordstrom terem ambos tentado, independentemente, explorar a quinta dimensão indica que os conceitos que circulavam amplamente na cultura popular afetaram seu pensamento.)[13]

A QUINTA DIMENSÃO

Todo físico leva um razoável tranco quando se confronta com a quinta dimensão pela primeira vez. Peter Freund lembra claramente o momento preciso em que ele encontrou pela primeira vez a quinta e outras dimensões. Foi um evento que deixou uma marca profunda em seu pensamento.

Foi em 1953, na Romênia, o país natal de Freund. Joseph Stálin acabara de morrer, um importante acontecimento que deu lugar a um considerável relaxamento de tensões. Naquele ano Freund era um precoce calouro na faculdade e assistiu a uma palestra de George Vranceanu. Ele se lembra vividamente de ouvir Vranceanu discutir a importante questão: por que a luz e a gravidade haveriam de ser tão dessemelhantes? Em seguida o palestrante mencionou uma velha teoria que poderia conter tanto a teoria da luz quanto as equações da gravidade de Einstein. O segredo era usar a teoria Kaluza-Klein, que era formulada em cinco dimensões.

Freund ficou chocado. Ali estava uma ideia brilhante que o pegava completamente de surpresa. Embora não passasse de um calouro, teve a audácia de fazer a pergunta óbvia: como essa teoria Kaluza-Klein explica as outras forças?, perguntou: "Ainda que se consiga a unificação da luz e da gravidade, não se terá conseguido coisa alguma, porque há ainda a força nuclear." Ele compreendeu que a força nuclear estava fora da teoria Kaluza-Klein. (De fato, a bomba de hidrogênio, que pendia como uma espada sobre todo mundo no planeta no auge da Guerra Fria, era baseada na liberação de força nuclear, não de eletromagnetismo ou gravidade.)

O conferencista não teve resposta. Em seu entusiasmo juvenil, Freund falou sem pensar: "Que tal acrescentar mais dimensões?"

"Mas quantas dimensões mais?", perguntou o palestrante.

Freund foi pego desprevenido. Não queria dar um número baixo de dimensões, só para ser suplantado por mais alguém. Assim, propôs um número que seria impossível alguém superar: um número infinito de dimensões![14] (Lamentavelmente para esse físico precoce, um número infinito de dimensões não parece ser fisicamente possível.)

A VIDA NUM CILINDRO

Depois do choque inicial do confronto com a quinta dimensão, a maioria dos físicos começa invariavelmente a fazer perguntas. De fato, a teoria de Kaluza suscitou mais perguntas do que respondeu. A pergunta óbvia a fazer a Kaluza era: onde é a quinta dimensão? Uma vez que

todos os experimentos terrestres mostravam conclusivamente que vivemos num universo com três dimensões de espaço e uma de tempo, a questão embaraçosa persistia.

Kaluza teve uma resposta engenhosa. Sua solução foi essencialmente a mesma proposta por Hinton anos antes: a dimensão adicional, não observável por experimentos, era diferente das outras. De fato, havia-se encolhido num círculo tão pequeno que nem mesmo átomos podiam caber dentro dele. Assim a quinta dimensão não era um truque matemático introduzido para manipular o eletromagnetismo e a gravidade, mas uma dimensão física que fornecia a cola para unir duas forças fundamentais numa única força, mas era simplesmente pequena demais para ser medida.

Qualquer pessoa que andasse rumo à quinta dimensão acabaria por se ver de volta a seu ponto de partida. Isso ocorre porque a quinta dimensão é topologicamente idêntica a um círculo, e o universo é topologicamente idêntico a um cilindro.

Freund explica isso da seguinte maneira:

> Pense em pessoas imaginárias vivendo em Linhalândia, que consiste em uma única linha. Ao longo de toda a sua história, elas acreditaram que seu mundo se resumia a uma única linha. Então, um cientista em Linhalândia propôs que seu mundo não era apenas uma linha unidimensional, mas um mundo bidimensional. Quando lhe perguntavam onde estava essa dimensão misteriosa e inobservável, ele respondia que a segunda dimensão estava enroscada numa bolinha. Assim, o povo da linha vive na verdade na superfície de um cilindro longo, mas muito fino. O raio do cilindro é pequeno demais para ser medido; é de fato tão pequeno que parece que o mundo não passa de uma linha.[15]

Se o raio do cilindro fosse maior, os habitantes da linha poderiam sair de seu universo e se mover perpendicularmente a seu mundo linear. Em outras palavras, poderiam fazer uma viagem interdimensional. Quando se movessem perpendicularmente a Linhalândia, iriam encontrar um número infinito de mundos lineares paralelos que coexistiam com seu universo. À medida que avançassem mais na segunda dimensão, acabariam por retornar a seu próprio mundo linear.

Agora pense em chatalandeses vivendo num plano. De maneira semelhante, um cientista em Chatalândia pode fazer a ultrajante afirmação de que a viagem através da terceira dimensão é possível. Em princípio, um chatalandês poderia se alçar além da superfície de Chatalândia. À medida que esse chatalandês flutuasse lentamente para cima na terceira dimensão, seus "olhos" veriam uma incrível sequência de diferentes universos paralelos, todos coexistindo com seu universo. Como seus olhos só seriam capazes de ver em paralelo à superfície de Chatalândia, ele veria diferentes universos Chatalândia surgindo diante dele. Se fosse arrastado para muito acima do plano, o chatalandês acabaria por retornar a seu universo Chatalândia original.

Agora, imagine que nosso atual mundo tridimensional tem na realidade outra dimensão, que se enroscou num círculo. No interesse da argumentação, suponha que a quinta dimensão tem três metros de comprimento. Saltando na quinta dimensão, simplesmente desaparecemos instantaneamente de nosso universo atual. Quando nos movemos na quinta dimensão, descobrimos que, após nos movermos três metros, estamos de volta a nosso ponto de partida. Mas, por que, para começar, a quinta dimensão se enroscou num círculo? Em 1926, o matemático Oskar Klein introduziu vários aperfeiçoamentos na teoria, declarando que talvez a teoria quântica pudesse explicar por que a quinta dimensão se enroscou. Com base nisso, calculou que o tamanho da quinta dimensão deveria ser 10^{-33} centímetros (o comprimento de Planck), o que é demasiadamente pequeno para que qualquer experimento terrestre detecte sua presença. (Esse é o mesmo argumento usado hoje para justificar a teoria de dez dimensões.)

Por um lado, isso significou que a teoria estava de acordo com a experimentação porque a quinta dimensão era pequena demais para ser medida. Por outro, significou também que a quinta dimensão era tão fantasticamente pequena que nunca seria possível construir máquinas suficientemente poderosas para provar que a teoria estava realmente correta. (O físico quântico Wolfgang Pauli, em sua maneira cáustica habitual, costumava descartar teorias de que não gostava, dizendo: "Não é nem sequer errada." Em outras palavras, eram tão mal-acabadas que não era possível determinar se eram corretas. Dado o fato de que a teoria de Kaluza não era passível de teste, podia-se dizer igualmente que ela não era nem sequer errada.)

A MORTE DA TEORIA KALUZA-KLEIN

Por mais promissora que a teoria Kaluza-Klein fosse ao fornecer uma fundamentação puramente geométrica para as forças da natureza, por volta da década de 1930 ela estava morta. Por um lado, os físicos não estavam convencidos de que a quinta dimensão realmente existia. A conjetura de Klein de que a quinta dimensão estava enroscada num minúsculo círculo com o tamanho do comprimento de Planck não podia ser testada. A energia necessária para investigar essa minúscula distância pode ser calculada, e é chamada a *energia de Planck*, ou 10^{19} bilhões de elétrons-volt. Essa fabulosa energia está quase além dos limites da nossa compreensão. Ela é 100 bilhões de bilhões de vezes a energia encerrada num próton, uma energia acima de tudo que seremos capazes de produzir em muitos séculos futuros.

Por outro lado, os físicos abandonaram essa área de pesquisa em bandos por causa da descoberta de uma nova teoria que estava revolucionando o mundo da ciência. A gigantesca onda desencadeada por essa teoria do mundo subatômico submergiu por completo a pesquisa

na teoria Kaluza-Klein. A nova teoria, chamada mecânica quântica, fez soar o dobre de finados para a teoria Kaluza-Klein durante os sessenta anos que se seguiram. Pior, a mecânica quântica pôs em questão a fluente interpretação geométrica das forças, substituindo-a por pacotes discretos de energia.

Estava o programa iniciado por Riemann e Einstein completamente errado?

---

f. De maneira semelhante, os passageiros que viajam no trem pensariam que ele estava em repouso e que a estação do metrô estava vindo em direção ao trem. Eles veriam a plataforma e todos nela postados comprimidos como uma sanfona. Então isto nos leva a uma contradição, o fato de as pessoas no trem e as que estão na estação pensarem ambas que a outra foi comprimida. A resolução deste paradoxo é um bocadinho delicada.[3]

g. Por exemplo, imagine que você é um salva-vidas numa praia, a certa distância da água; com o canto do olho você avista alguém se afogando no oceano muito longe. Suponha que você só é capaz de correr muito lentamente na areia, e pode nadar rapidamente na água. Um caminho reto até a vítima pela areia demandará tempo demais. O caminho de menor duração é uma linha curva que reduza o tempo gasto correndo na areia e maximize o tempo gasto nadando na água.

PARTE II

Unificação em dez dimensões

5

Heresia quântica

Quem quer que não fique chocado com a teoria quântica, não a compreende.
Niels Bohr

UM UNIVERSO FEITO DE MADEIRA

Em 1925, uma nova teoria surgiu. Com velocidade estonteante, quase meteórica, essa teoria derrubou noções sobre a matéria há muito acalentadas, que remontavam de fato ao tempo dos gregos. Quase sem esforço, ela derrotou antigos problemas fundamentais que haviam desafiado os físicos durante séculos. De que é feita a matéria? O que a mantém coesa? Por que ela se manifesta numa infinita variedade de formas, tais como gases, metais, rochas, líquidos, cristais, cerâmicas, vidros, raios, estrelas e assim por diante?

A nova teoria foi batizada de *mecânica quântica* e nos deu a primeira formulação abrangente com que arrombar os segredos do átomo. O mundo subatômico, outrora um reino proibido para os físicos, começava agora a ter seus segredos desvendados.

Para compreender a rapidez com que essa revolução demoliu seus rivais, observamos que no início da década de 1920 alguns cientistas ainda mantinham séria reserva com relação à existência de "átomos". O que não podia ser visto ou medido diretamente no laboratório, zombavam eles, não existia. Mas, na altura de 1925 e 1926, Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg e outros já haviam desenvolvido uma descrição matemática quase completa do átomo de hidrogênio. Com precisão devastadora, eles podiam explicar agora quase todas as propriedades do átomo de hidrogênio a partir da matemática pura. Em 1930, físicos quânticos como Paul A. M. Dirac estavam declarando que *toda a química* podia ser derivada de princípios básicos. Chegaram a fazer até a atrevida afirmação de que, com tempo suficiente numa máquina de calcular, seriam capazes de prever todas as propriedades químicas da matéria encontrada no universo. Para eles, a química deixaria de ser uma ciência fundamental. Dali por diante, seria "física aplicada".

A estonteante ascensão da mecânica quântica não só incluiu uma explicação definitiva das estranhas propriedades do mundo atômico, como eclipsou também o trabalho realizado por Einstein durante muitas décadas: uma das primeiras vítimas da revolução quântica foi a teoria geométrica do universo de Einstein. Nos corredores do Institute of Advanced Study, jovens físicos começaram a sussurrar que Einstein estava obsoleto, que a revolução quântica o havia

ignorado completamente. A geração mais jovem se apressava em ler os últimos artigos escritos sobre teoria quântica, não os que tratavam de teoria da relatividade. Até o diretor do instituto, J. Robert Oppenheimer, confidenciava em particular a seus alunos que o trabalho de Einstein estava irremediavelmente superado. O próprio Einstein começou a pensar sobre si mesmo como uma "velha relíquia".

O sonho de Einstein, como nos lembramos, era criar um universo feito de "mármore" – isto é, pura geometria. Ele se sentia repelido pela relativa feiura da matéria, com sua desconcertante, anárquica miscelânea de formas, a que chamava "madeira". A meta de Einstein era remover essa mancha de suas teorias para sempre, transformar madeira em mármore. Sua esperança máxima era criar uma teoria do universo inteiramente baseada em mármore. Para seu horror, ele percebeu que a teoria quântica era uma teoria *feita inteiramente de madeira!* Ironicamente, revelava-se agora que ele provavelmente cometera uma tolice monumental, que o universo aparentemente preferia madeira a mármore.

Na analogia entre madeira e mármore, lembramos que Einstein queria converter a árvore na praça de mármore numa estátua de mármore, criando um parque completamente feito de mármore. Os físicos quânticos, no entanto, abordavam o problema da perspectiva oposta. Seu sonho era pegar um martelo e pulverizar todo o mármore. Depois de remover os pedaços de mármore estilhaçados, iriam cobrir o parque inteiramente de madeira.

A teoria quântica, de fato, virava Einstein de cabeça para baixo. Em quase todos os sentidos da palavra, a teoria quântica é o oposto da teoria de Einstein. A relatividade geral de Einstein é uma teoria do cosmo, uma teoria de estrelas e galáxias unidas mediante o tecido uniforme do espaço e tempo. A teoria quântica, em contraposição, é uma teoria do microcosmo, em que partículas subatômicas são aglutinadas por forças semelhantes a partículas que dançam no palco estéril do espaço-tempo, que é visto como uma arena vazia, desprovida de qualquer conteúdo. Assim as duas teorias são opostos hostis. De fato, a onda gigantesca gerada pela revolução quântica submergiu todas as tentativas de uma compreensão geométrica das forças durante meio século.

Ao longo de todo este livro, desenvolvemos o tema de que as leis da física parecem simples e unificadas em um número maior de dimensões. No entanto, com o aparecimento da heresia quântica após 1925, vemos a primeira séria contestação a este tema. De fato, nos sessenta anos que se seguiram, até meados da década de 1980, a ideologia dos heréticos quânticos iria dominar o mundo da física, quase enterrando as ideias geométricas de Riemann e Einstein sob uma avalancha de inegáveis sucessos e vitórias experimentais atordoantes.

De maneira bastante rápida, a teoria quântica começou a fornecer uma estrutura abrangente

em que descrever todo o universo visível: o universo material consiste em átomos e seus constituintes. Há cerca de 100 diferentes tipos de átomos, ou elementos, a partir dos quais podemos construir todas as formas conhecidas de matéria encontradas na Terra e até no espaço cósmico. Os átomos, por sua vez, consistem em elétrons que orbitam em torno de núcleos, que por sua vez são compostos de nêutrons e prótons. Em essência, as diferenças-chave entre a bela teoria geométrica de Einstein e a teoria quântica podem ser sintetizadas da seguinte maneira:

1. Forças são criadas pela troca de pacotes discretos de energia chamados *quanta*.

Em contraste com a descrição geométrica de uma "força" feita por Einstein, na teoria quântica a luz seria picada em pedaços minúsculos. Esses pacotes de luz foram chamados *fótons* e têm um comportamento muito semelhante ao de partículas pontuais. Quando dois elétrons batem um no outro, se repelem mutuamente, não por causa da curvatura do espaço, mas porque trocam um pacote de energia, o fóton.

A energia desses fótons é medida em unidades de algo chamado *constante de Planck* ($\hbar \sim 10^{-27}$ erg sec). O tamanho quase infinitesimal da constante de Planck significa que a teoria quântica faz minúsculas correções às leis de Newton. Estas são chamadas *correções quânticas*, e podem ser negligenciadas na descrição de nosso mundo conhecido, macroscópico. É por esta razão que podemos, na maior parte das vezes, esquecer a teoria quântica ao descrever fenômenos cotidianos. Quando lidamos com o mundo subatômico microscópico, contudo, essas correções começam a dominar todo processo físico, explicando as propriedades estranhas, contrárias à intuição, de partículas subatômicas.

2. Forças diferentes são causa das pela troca de *quanta* diferentes.

A força fraca, por exemplo, é causada pela troca de um tipo diferente de *quantum*, chamada partícula *W* (*W* representa "fraca"). De maneira semelhante, a força forte que segura os prótons e os nêutrons juntos dentro do núcleo do átomo é causada pela troca de partículas subatômicas chamadas mésons p. Tanto bósons *W* quanto mésons p foram vistos experimentalmente nos escombros de aceleradores atômicos, confirmando com isso a correção dessa abordagem. E, finalmente, a força subnuclear que segura os prótons e os nêutrons e até os mésons p juntos, são os chamados glúons.

Desta maneira, temos um novo "princípio unificador" para as leis da física. Podemos unir as leis do eletromagnetismo, a força fraca e a força forte postulando uma variedade de

diferentes *quanta* que os mediam. Três das quatro forças (excluindo a gravidade) são portanto unidas pela teoria quântica, dando-nos unificação sem geometria, o que parece contradizer o tema deste livro e tudo o que consideramos até agora.

3. Nunca podemos conhecer simultaneamente a velocidade e a posição de uma partícula subatômica.

Este é o Princípio de Incerteza de Heisenberg, que é de longe o aspecto mais controverso da teoria, mas que resistiu a todos os desafios no laboratório ao longo de meio século. Não há nenhum desvio experimental a essa regra.

O Princípio de Incerteza significa que nunca podemos saber com certeza onde um elétron está ou qual é a sua velocidade. O máximo que podemos fazer é calcular a probabilidade de que ele vá aparecer em certo lugar com certa velocidade. A situação não é tão desalentadora como se poderia imaginar, porque podemos calcular com rigor matemático a probabilidade de encontrar esse elétron. Embora seja uma partícula pontual, o elétron é acompanhado por uma onda que obedece a uma equação bem definida, a equação de onda de Schrödinger. Grosseiramente falando, quanto maior é a onda, maior a probabilidade de encontrar o elétron naquele ponto.

Assim a teoria quântica funde os conceitos tanto de partícula quanto de onda numa bela dialética: os objetos físicos fundamentais da natureza são partículas, mas a probabilidade de encontrar uma partícula em qualquer lugar no espaço e no tempo é dada por uma onda de probabilidade. Essa onda, por sua vez, obedece a uma equação matemática bem definida dada por Schrödinger.

O que a teoria quântica tem de tão maluco é que ela reduz tudo a essas desconcertantes probabilidades. Podemos prever com grande precisão *quantos* elétrons num feixe serão espalhados ao se moverem através de uma tela perfurada. Contudo, nunca podemos saber com precisão *que* elétron será espalhado em que direção. Isso não é uma questão de ter instrumentos toscos; segundo Heisenberg, é uma lei da natureza.

Essa formulação, é claro, tinha implicações filosóficas perturbadoras. A visão newtoniana sustentava que o universo era um gigantesco relógio, cuja corda fora dada no início do tempo e que funcionava desde então porque obedecia às três leis do movimento de Newton; essa imagem do universo era agora substituída por incerteza e acaso. A teoria quântica demoliu, de uma vez por todas, o sonho newtoniano de se prever matematicamente o movimento de todas as partículas no universo.

Se a teoria quântica viola nosso bom senso, é somente porque a natureza não parece se

importar muito com ele. Por estranhas e perturbadoras que possam parecer, essas ideias podem ser facilmente verificadas em laboratório. Isso é ilustrado pelo célebre experimento da dupla fenda. Digamos que disparamos um feixe de elétrons contra uma tela com duas pequenas fendas. Atrás da tela, há papel fotográfico sensível. Segundo a física clássica do século XIX, deveria haver dois minúsculos pontos queimados no papel fotográfico pelo feixe de elétrons detrás de cada buraco. No entanto, quando o experimento é efetivamente realizado no laboratório, encontramos um padrão de interferência (uma série de linhas claras e escuras) no papel fotográfico, o que é comumente associado ao comportamento de ondas, não de partículas (Figura 5.1). (O meio mais simples de criar um padrão de interferência é tomar um banho tranquilo e depois espadanar ondas na superfície da água. O padrão de teia de aranha de ondas se entrecruzando na superfície da água é um padrão de interferência causado pela colisão de muitas frentes de onda.) O padrão na folha fotográfica corresponde a uma onda que penetrou as duas fendas simultaneamente e então interferiu consigo mesma atrás da tela. Como o padrão de interferência é criado pelo movimento coletivo de muitos elétrons individuais, e como a onda atravessou ambos os buracos simultaneamente, chegamos ingenuamente à conclusão absurda de que elétrons podem de algum modo entrar *nos dois buracos* simultaneamente. Mas como pode um elétron estar em dois lugares ao mesmo tempo? Segundo a teoria quântica, o elétron é realmente uma partícula pontual que atravessou um ou outro buraco, mas a função de onda do elétron expandiu-se pelo espaço, entrou pelos dois buracos e depois interagiu consigo mesma. Por mais perturbadora que esta ideia seja, ela foi repetidamente verificada por experimento. Como o físico *Sir* James Jeans disse uma vez: "É provavelmente tão sem sentido discutir quanto espaço um elétron ocupa quanto discutir quanto espaço um medo, uma ansiedade ou uma incerteza ocupam."[1] (Uma frase que vi num para-choque na Alemanha resumia isso sucintamente. Ela dizia: "Heisenberg pode ter dormido aqui.")

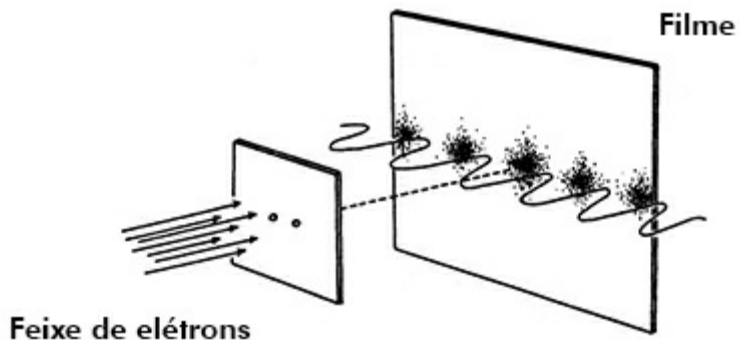


Figura 5.1. Um feixe de elétrons é disparado através de dois buraquinhos e expõe um filme. Esperamos ver dois pontos no filme. Em vez disso, encontramos um padrão ondeante de interferência. Como isso pode acontecer?

Segundo a teoria quântica, o elétron é na realidade uma partícula pontual e não pode passar por ambos os buracos, mas a onda de Schrödinger associada a cada elétron pode passar pelos dois buracos e interferir consigo mesma.

4. Há uma probabilidade finita de que partículas possam cavar túneis através de barreiras impenetráveis ou dar um salto quântico.

Esta é uma das previsões mais estonteantes da teoria quântica. No nível atômico, ela teve um sucesso nada menos que espetacular. O "tunelamento", ou saltos quânticos através de barreiras, sobreviveu a todos os desafios experimentais. De fato, um mundo sem o efeito túnel é hoje inimaginável.

Um experimento simples que demonstra a correção do efeito quântico de túneis começa pondo-se um elétron dentro de uma caixa. Normalmente, o elétron não tem energia suficiente para penetrar as paredes da caixa. Se a física clássica está correta, o elétron nunca deixaria a caixa. No entanto, segundo a teoria quântica, a onda de probabilidade do elétron vai se espalhar pela caixa e filtrar-se para o mundo exterior. A filtragem através da parede pode ser calculada precisamente com a equação de onda de Schrödinger; isto é, há uma pequena probabilidade de que a posição do elétron esteja em algum lugar *fora* da caixa. Em outras palavras, há uma probabilidade finita de o elétron cavar um túnel através da barreira (a parede da caixa) e emergir fora da caixa. No laboratório, quando se mede a taxa em que elétrons cavam túneis através dessas barreiras, os números concordam precisamente com a teoria quântica.

Esse tunelamento quântico é o segredo por trás do diodo túnel, que é um dispositivo puramente quântico. Normalmente, a eletricidade poderia não ter energia suficiente para atravessar o diodo túnel. No entanto, a função de onda desses elétrons pode penetrar através de barreiras no diodo, de modo que há uma probabilidade não desprezível de que eletricidade vá emergir do outro lado da barreira, cavando nela um túnel. Quando você ouvir os belos sons da música estéreo, lembre-se de que está ouvindo os ritmos de trilhões de elétrons obedecendo a esta e a outras estranhas leis da mecânica quântica.

Mas se a mecânica quântica estivesse incorreta, todos os aparelhos eletrônicos, entre os quais aparelhos de televisão, computadores, rádios, aparelhos de som e assim por diante deixariam de funcionar. (De fato, se a teoria quântica estivesse incorreta, os átomos em nossos corpos desabariam e nós nos desintegraríamos instantaneamente. Segundo as equações de Maxwell, os elétrons que giram num átomo deveriam perder sua energia num microssegundo e mergulhar no núcleo. Esse súbito colapso é impedido pela teoria quântica. Assim, o fato de nós existirmos é uma prova viva da correção da mecânica quântica.)

Isso significa também que há uma probabilidade finita, calculável, de que eventos "impossíveis" ocorram. Por exemplo, posso calcular a probabilidade de eu vir a desaparecer e abrir um túnel através da Terra e reaparecer no Havaí. (O tempo que teríamos de esperar para que tal evento ocorresse, cabe assinalar, é maior que o tempo de vida do universo. Portanto não podemos usar a mecânica quântica para abrir túneis até locais de férias em torno do mundo.)

O CAMPO DE YANG-MILLS, SUCESSOR DE MAXWELL

Após um ímpeto inicial de sucesso sem precedentes na história da ciência nas décadas de 1930 e 1940, a física quântica começou a perder fôlego na altura da década de 1960. Poderosos aceleradores de partículas construídos para fracionar o núcleo do átomo encontraram centenas de partículas misteriosas entre os escombros. Os físicos, de fato, foram inundados por montanhas de dados experimentais vomitados por esses aceleradores de partículas.

Enquanto Einstein conjeturou toda a estrutura da relatividade geral apenas com intuição física, os físicos de partículas estavam se afogando numa massa de dados experimentais na década de 1960. Como Enrico Fermi, um dos construtores da bomba atômica, confessou: "Se eu fosse capaz de me lembrar dos nomes de todas essas partículas, teria me tornado um botânico."[2] À medida que centenas de partículas "elementares" eram descobertas nos entulhos de átomos despedaçados, os físicos de partículas iam propondo inúmeros esquemas para explicá-las, todos malfadados. O número de esquemas incorretos foi tão grande que se dizia por vezes que a meia-vida de uma teoria de física subatômica é de somente dois anos.

Voltando os olhos para todos os becos sem saída e partidas anuladas em física de partículas durante esse período, lembramo-nos da história do cientista e da pulga.

Um cientista treinou uma pulga para pular toda vez que ele tocasse um sino. Usando um microscópio, anestesiou então uma das pernas da pulga e tocou o sino de novo. A pulga mesmo assim pulou.

O cientista anestesiou então outra perna e depois tocou o sino. A pulga ainda pulou.

Subsequentemente, o cientista foi anestesiando mais e mais pernas, tocando o sino a cada vez, e a cada vez registrando que a pulga pulava.

Por fim, só restava à pulga uma perna. Quando o cientista anestesiou a última perna e tocou o sino, verificou para sua surpresa que a pulga já não pulava.

Então o cientista proferiu solenemente sua conclusão, baseada em dados científicos

irrefutáveis: as pulgas ouvem com as pernas!

Embora os físicos da alta energia tenham frequentemente se sentido como o cientista dessa história, ao longo das décadas, lentamente, uma teoria quântica consistente da matéria emergiu. Em 1971, o desenvolvimento-chave que impulsionou uma descrição unificada de três das forças quânticas (excluindo a gravidade) e mudou a paisagem da física teórica foi feito por um estudante de pós-graduação holandês, Gerard't Hooft, que ainda estava na casa dos vinte anos.

Com base na analogia com os fótons, os *quanta* de luz, os físicos acreditavam que as forças fraca e forte eram causadas pela troca de um *quantum* de energia, chamado o campo de Yang-Mills. Descoberto por C. N. Yang e seu aluno R. L. Mills em 1954, o campo de Yang-Mills é uma generalização do campo de Maxwell introduzido um século antes para descrever a luz, com a diferença de que o campo de Yang-Mills tem muito mais componentes e pode ter uma carga elétrica (o fóton não transporta nenhuma carga elétrica). Para as interações fracas, o *quantum* correspondente ao campo de Yang-Mills é a partícula *W*, que tem carga +1, 0 e -1. Para a interação forte, o *quantum* correspondente ao campo de Yang-Mills, a "cola" ("glue") que mantém os prótons e os nêutrons juntos, foi batizado de glúon.

Embora esse quadro geral fosse irresistível, o problema que atormentou os físicos nas décadas de 1950 e 1960 foi que o campo de Yang-Mills não é "renormalizável"; isto é, não fornece quantidades finitas, significativas quando aplicado a interações simples. Isso tornava a teoria quântica inútil na descrição das interações fracas e fortes. A física quântica estava num beco sem saída.

Esse problema surgiu porque, quando calculam o que acontece quando duas partículas se chocam, os físicos usam uma coisa chamada *teoria da perturbação*, o que é uma maneira imaginosa de dizer que usam aproximações engenhosas. Por exemplo, na Figura 5.2 (a), vemos o que acontece quando um elétron colide com outra partícula de interação fraca, o elusivo neutrino. Numa primeira suposição, a interação pode ser descrita por um diagrama (chamado *diagrama de Feynman*) que mostra que um *quantum* das interações fracas, a partícula *W*, é trocado entre o elétron e o neutrino. Para uma primeira aproximação, isto nos dá um ajustamento grosseiro mas razoável aos dados experimentais.

De acordo com a teoria quântica, porém, devemos ainda acrescentar pequenas correções quânticas à nossa primeira suposição. Para tornar nosso cálculo rigoroso, devemos também acrescentar diagramas de Feynman para todos os gráficos possíveis, inclusive os que comportam "laços", como na Figura 5.2 (b). O ideal é que essas correções quânticas sejam minúsculas. Afinal, como foi mencionado antes, a teoria quântica foi concebida para fazer

minúsculas correções quânticas na física de Newton. Mas, para grande horror dos físicos, essas correções quânticas, ou "gráficos de laços", em vez de serem pequenas, eram infinitas. Por mais que eles remendassem suas equações ou tentassem disfarçar essas quantidades infinitas, essas divergências eram persistentemente encontradas em qualquer cálculo de correções quânticas.

Além disso, o campo de Yang-Mills tinha a terrível reputação de ser infernalmente difícil de calcular, em comparação com o campo de Maxwell, mais simples. Segundo uma mitologia que envolvia o campo de Yang-Mills, ele era simplesmente complicado demais para cálculos práticos. Talvez tenha sido uma sorte que 't Hooft fosse apenas um estudante de pós-graduação e não tenha sido influenciado pelos preconceitos de físicos mais "tarimbados". Usando técnicas propostas por seu orientador de tese Martinus Veltman, 't Hooft mostrou que, sempre que temos "quebra de simetria" (que explicaremos mais tarde), o campo de Yang-Mills adquire uma massa mas permanece uma teoria finita. Mostrou que as infinidades devidas aos gráficos em laço podem todas ser canceladas ou removidas até se tornarem inofensivas.

Quase vinte anos depois que o campo de Yang-Mills fora proposto por Yang e Mills, 't Hooft mostrou finalmente que é uma teoria bem definida de interações entre partículas. A notícia do trabalho de 't Hooft se alastrou como fogo. O prêmio Nobel Sheldon Glashow se lembra de que, quando soube da novidade, exclamou: "Ou esse sujeito é um total idiota, ou é o maior gênio que apareceu na física em anos!"[3] Os desenvolvimentos foram numerosos e rápidos. Uma primeira teoria das interações fracas proposta em 1967 por Steven Weinberg e Abdus Salam provou-se rapidamente a teoria correta das interações fracas. Em meados da década de 1970, o campo de Yang-Mills foi aplicado às interações fortes. Na década de 1970 veio a atordoadora compreensão de que o segredo de toda a matéria nuclear podia ser desvendado pelo campo de Yang-Mills.

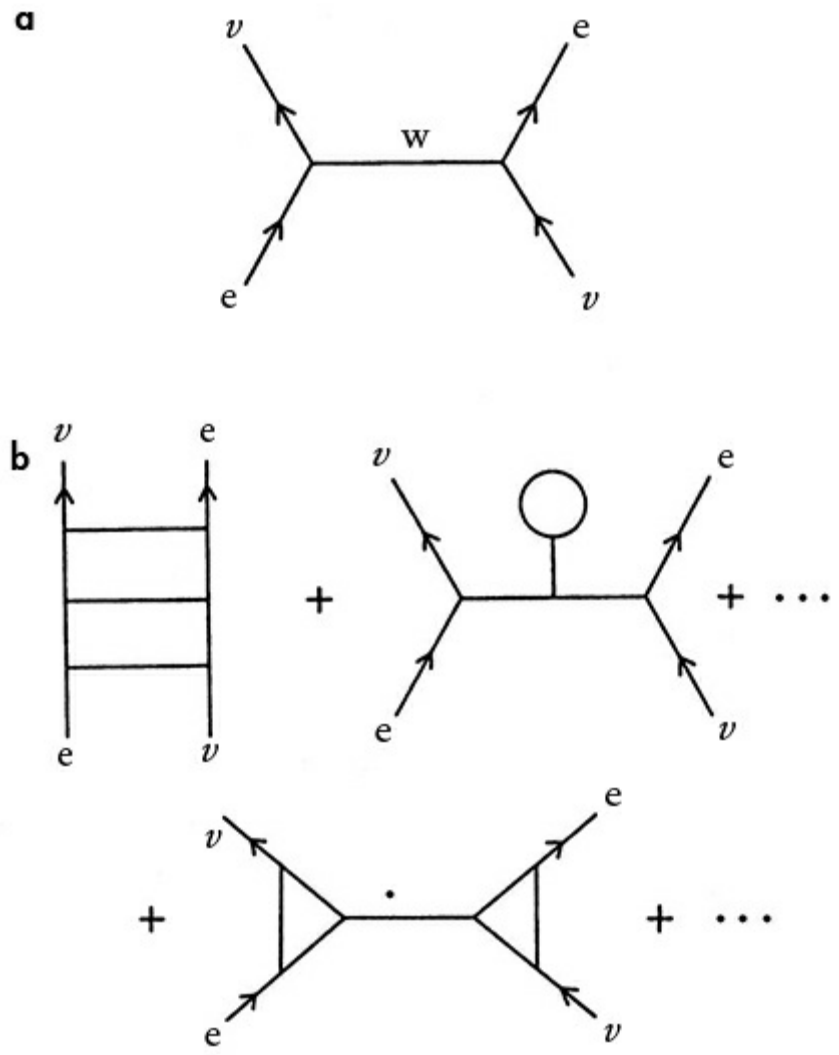


Figura 5.2. (a) Na teoria quântica, quando partículas subatômicas se chocam uma contra a outra, elas trocam pacotes de energia, ou quanta. *Elétrons e neutrinos interagem trocando um* quantum *da força fraca, chamado a partícula W. (b) Para calcular a interação completa de elétrons e neutrinos, devemos adicionar uma série infinita de gráficos, chamados diagramas de Feynman, em que os* quanta *são trocados em padrões geométricos progressivamente mais complicados. Esse processo de adicionar uma série infinita de gráficos de Feynman é chamado de teoria da perturbação.*

Essa era a peça que faltava no quebra-cabeça. O segredo da madeira que mantinha a matéria coesa era o campo de Yang-Mills, não a geometria de Einstein. Tinha-se a impressão de que esse campo, e não a geometria, era a lição central da física.

O MODELO PADRÃO

Hoje, o campo de Yang-Mills torna possível uma teoria abrangente de toda a matéria. De fato, temos tanta confiança nessa teoria que a chamamos simplesmente de *Modelo Padrão*.

O Modelo Padrão é capaz de explicar cada fragmento de dado experimental concernente às partículas subatômicas, até cerca de 1 trilhão de elétrons-volt em energia (a energia criada acelerando-se um elétron em 1 trilhão de volts). Esse é mais ou menos o limite dos aceleradores de partículas atualmente em uso. Consequentemente, não é nenhum exagero

afirmar que o Modelo Padrão é a teoria mais bem-sucedida na história da ciência.

Segundo o Modelo Padrão, cada uma das forças que une as várias partículas é criada pela troca de diferentes tipos de *quanta*. Vamos discutir cada força separadamente, e depois reuni-las no Modelo Padrão.

A força forte

O Modelo Padrão afirma que os prótons, nêutrons e outras partículas pesadas não são em absoluto partículas fundamentais, mas consistem em partículas ainda mais minúsculas, chamadas de *quarks*. Esses quarks, por sua vez, se apresentam numa ampla variedade: três "cores" e seis "sabores". (Esses nomes nada têm a ver com cores e sabores de verdade.) Há também as contrapartidas de antimatéria dos quarks, chamadas de antiquarks. (A antimatéria é idêntica à matéria sob todos os aspectos, com a diferença de que as cargas são invertidas e ela se anula ao contato com a matéria comum.) Isto nos dá um total de 3 x 6 x 2 = 36 quarks.

Os quarks, por sua vez, são mantidos coesos pela troca de pequenos pacotes de energia, chamados *glúons*. Matematicamente, esses glúons são descritos pelo campo de Yang-Mills, que se "condensa" numa substância pegajosa, como uma goma, que "cola" os quarks uns aos outros permanentemente. O campo de glúons é tão poderoso e aglutina os quarks de tal maneira que eles nunca podem ser arrancados uns dos outros. Isso é chamado de *confinamento de quarks*, e pode explicar por que quarks livres nunca foram vistos experimentalmente.

Por exemplo, o próton e o nêutron podem ser comparados a três bolas de aço (quarks) aglutinadas por uma corda em forma de Y (glúon) na forma de boleadeiras. Outras partículas de interação forte, como o méson π, podem ser comparadas com um quark e um antiquark mantidos coesos por uma única corda (Figura 5.3).

Obviamente, chutando esse arranjo de bolas de aço, podemos fazer essa geringonça vibrar. No mundo quântico, somente um conjunto discreto de vibrações é permitido. Cada vibração desse conjunto de bolas de aço ou quarks corresponde a um tipo diferente de partícula subatômica. Assim essa simples (mas poderosa) representação explica o fato de haver um número infinito de partículas de interação forte. Esta parte do Modelo Padrão que descreve a força forte é chamada de cromodinâmica quântica (QCD, de *quantum chromodynamics*) – isto é, a teoria quântica da força de cor.

A força fraca

No Modelo Padrão, a força fraca governa as propriedades dos "léptons", como o elétron, o múon e o méson tau, e seus parceiros neutrinos. Como as outras forças, os léptons interagem trocando *quanta*, chamados bósons *W* e *Z*. Esses *quanta* são também descritos matematicamente pelo campo de Yang-Mills. Diferentemente da força glúon, a força gerada pela troca dos bósons *W* e *Z* é fraca demais para unir os léptons numa ressonância, de modo que não vemos um número infinito de léptons emergindo de nossos aceleradores de partículas.

A força eletromagnética

O Modelo Padrão inclui a teoria de Maxwell interagindo com as outras partículas. Essa parte do Modelo Padrão que governa as interações entre elétrons e a luz é chamada de eletrodinâmica quântica (QED, de *quantum electrodynamics*), cuja correção foi experimentalmente verificada com margem de erro menor que uma parte em dez milhões, o que faz dela, tecnicamente, a teoria mais precisa da história.

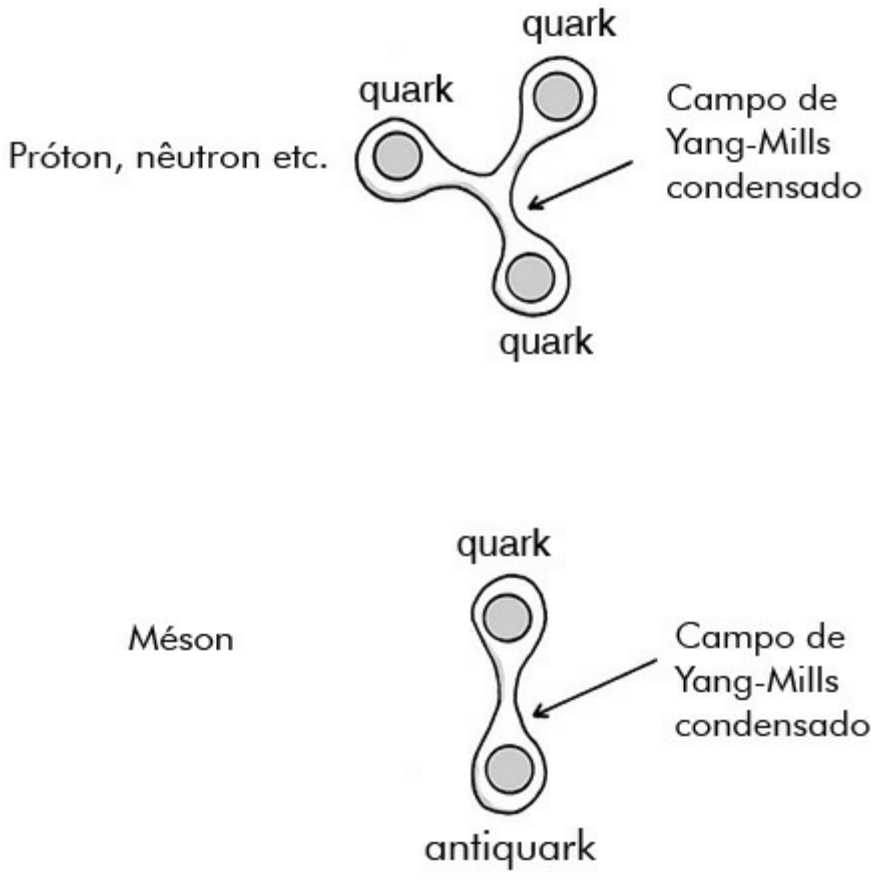


Figura 5.3. As partículas de interação forte são na realidade compósitos de partículas ainda menores, chamadas quarks, que são ligadas por uma "cola" semelhante a uma goma, que é descrita pelo campo de Yang-Mills. O próton e o nêutron são feitos cada um de três quarks, ao passo que os mésons são feitos de um quark e um antiquark.

Em síntese, a fruição de cinquenta anos de pesquisa e muitas centenas de milhões de dólares em verbas do governo nos deram a seguinte imagem da matéria subatômica: *toda matéria consiste em quarks e léptons, os quais interagem trocando diferentes tipos de* quanta*, descritos pelos campos de Maxwell e de Yang-Mills*. Numa frase, captamos a essência do século anterior de investigação frustrante no reino subatômico. Dessa imagem simples podemos derivar, unicamente da pura matemática, todas as inúmeras e desconcertantes propriedades da matéria. (Embora tudo pareça tão simples agora, o prêmio Nobel Steven Weinberg, um dos criadores do Modelo Padrão, certa vez refletiu sobre como essa jornada de cinquenta anos para descobrir o modelo havia sido tortuosa. Ele escreveu: "Há uma longa tradição de física teórica, que de maneira alguma afetou todos mas com certeza me afetou, que dizia que as interações fortes [eram] complicadas demais para a mente humana.")[4]

SIMETRIA EM FÍSICA

Os detalhes do Modelo Padrão são na realidade bastante enfadonhos e sem importância. A característica mais interessante do Modelo Padrão é ser baseado na simetria. O que impeliu essa investigação da matéria (madeira) é que podemos ver um inconfundível sinal de simetria dentro de cada uma dessas interações. Quarks e léptons não são aleatórios, ocorrendo em padrões definidos no Modelo Padrão.

A simetria, é claro, não é um conceito exclusivo dos físicos. Artistas, escritores, poetas e matemáticos há muito admiram a beleza que nela pode ser encontrada. Para o poeta William Blake, a simetria possuía qualidades místicas, até temíveis, como expressas no poema "Tyger! Tyger! burning bright":

> Tyger! Tyger! burning bright
> In the forests of the night
> What immortal hand or eye
> Could frame thy fearful symmetry?[h][5]

Para o matemático Lewis Carroll, a simetria representava um conceito familiar, quase brincalhão. Em "The Hunting of the Snark", ele captou a essência da simetria ao escrever:

> You boil it in sawdust:
> You salt it in glue:
> You condense it with locusts in tape:
> Still keeping one principal object in view –
> To preserve its symmetrical shape.[i]

Em outras palavras, a simetria é a preservação da forma de um objeto depois que o deformamos ou giramos. Vários tipos de simetria ocorrem repetidamente na natureza. A primeira é a simetria das rotações e reflexões. Por exemplo, um floco de neve permanece o mesmo se o giramos 60 graus. A simetria de um caleidoscópio, uma flor ou uma estrela-do-mar é desse tipo. Podemos chamá-las de simetrias do espaço-tempo, que são criadas girando-se o objeto através de uma dimensão do espaço ou tempo. A simetria da relatividade especial é desse tipo, já que ela descreve rotações entre espaço e tempo.

Outro tipo de simetria é criado reembaralhando-se uma série de objetos. Pense num jogo com conchas, em que um bufarinheiro embaralha três conchas com uma ervilha escondida debaixo de uma delas. O que torna o jogo difícil é que as maneiras como as conchas podem ser arranjadas são muitas. De fato, há seis diferentes maneiras pelas quais três conchas podem ser embaralhadas. Como a ervilha está escondida, essas seis configurações são idênticas para o observador. Os matemáticos gostam de dar nomes a essas várias simetrias. O nome para as simetrias de um jogo de conchas é S_3, que descreve o número de modos como três objetos idênticos podem ser intercambiados.

Se substituirmos as conchas por quarks, as equações da física das partículas devem permanecer as mesmas se embaralharmos os quarks entre eles. Se embaralhamos três quarks coloridos e as equações permanecem as mesmas, dizemos que as equações possuem algo chamado simetria SU (3). O 3 representa o fato de que temos três tipos de cores, e o SU representa uma propriedade matemática específica da simetria.[j] Dizemos que há três quarks num *multipleto*. Os quarks num multipleto podem ser embaralhados entre si sem mudar a física da teoria.

Da mesma maneira, a força fraca governa as propriedades de duas partículas, o elétron e o neutrino. A simetria que intercambia essas partículas, deixando contudo a equação igual, é chamada SU (2). Isso significa que um multipleto da força fraca contém um elétron e um neutrino, que podem ser girados um no outro. Finalmente, a força eletromagnética tem simetria U (1), que gira os componentes do campo de Maxwell nele mesmo.

Cada uma dessas simetrias é simples e elegante. No entanto, o aspecto mais controverso do Modelo Padrão é que ele "unifica" as três forças fundamentais simplesmente emendando todas as três teorias umas com as outras numa grande simetria, SU (3) x SU (2) x U (1), que é exatamente o produto das simetrias das forças individuais. (Isto pode ser comparado à montagem de um quebra-cabeça. Se temos três peças do quebra-cabeça que não se encaixam, sempre podemos pegar uma fita adesiva e juntá-las manualmente. É assim que o Modelo Padrão é formado, emendando três multipletos distintos uns nos outros. Isso pode não ser

esteticamente agradável, mas ao menos as três peças do quebra-cabeça estão agora unidas pela fita adesiva.)

O ideal seria que a "teoria definitiva" tivesse todas as partículas dentro de apenas um multipleto. Lamentavelmente, o Modelo Padrão tem três multipletos distintos, que não podem ser girados um no outro.

ALÉM DO MODELO PADRÃO

Os defensores do Modelo Padrão podem dizer com razão que ele se ajusta a todos os dados experimentais conhecidos. Podem mostrar corretamente que não há resultados experimentais que contradigam o Modelo Padrão. No entanto, ninguém, nem seus mais fervorosos defensores, acredita que ele é a teoria final da matéria. Há várias razões profundas pelas quais ele não pode ser a teoria final.

Em primeiro lugar, o Modelo Padrão não descreve a gravidade, por isso é necessariamente incompleto. Quando se fazem tentativas de emendar a teoria de Einstein com o Modelo Padrão, a teoria resultante dá respostas sem sentido. Quando calculamos, digamos, a probabilidade de um elétron ser defletido por um campo gravitacional, a teoria híbrida nos dá uma probabilidade infinita, o que não faz nenhum sentido. Os físicos dizem que a gravidade quântica é *não renormalizável*, querendo dizer com isso que ela não pode fornecer números razoáveis, finitos, para descrever processos físicos simples.

Em segundo lugar, e talvez mais importante, ele é muito feio porque emenda grosseiramente três diferentes interações umas com as outras. Pessoalmente, penso que o Modelo Padrão pode ser comparado ao cruzamento de três tipos inteiramente dessemelhantes de animais, como uma mula, um elefante e uma baleia. De fato, ele é tão feio e forçado que até seus criadores se sentem um pouco embaraçados. Eles são os primeiros a se desculpar por suas deficiências e admitem que não pode ser a teoria final.

Essa feiura é óbvia quando pomos no papel os detalhes dos quarks e dos léptons. Para descrever o quanto a teoria é feia, vamos listar as várias partículas e forças no seio do Modelo Padrão:

1. Trinta e seis quarks, apresentando-se em seis "sabores" e três "cores" e suas correspondentes de antimatéria para descrever as interações fortes.
2. Oito campos de Yang-Mills para descrever os glúons, que unem os quarks.
3. Quatro campos de Yang-Mills para descrever as forças fraca e eletromagnética.
4. Seis tipos de léptons para descrever as interações fracas (entre os quais o elétron, o

múon, o lépton tau, e seus respectivos neutrinos equivalentes).
5. Um grande número de misteriosas "partículas de Higgs", necessárias para atamancar as massas e as constantes que descrevem as partículas.
6. Pelo menos 19 constantes arbitrárias que descrevem as massas das partículas e as forças das várias interações. Essas 19 constantes devem ser introduzidas manualmente; elas não são determinadas pela teoria de modo algum.

Pior, essa longa lista de partículas pode ser decomposta em três "famílias" de quarks e léptons que são praticamente indistinguíveis umas das outras. De fato, essas três famílias de partículas parecem ser as cópias exatas umas das outras, dando uma tríplice redundância no número de partículas supostamente "elementares" (Figura 5.4). (É perturbador darmo-nos conta de que agora temos um número mais vasto de partículas "elementares" que o número total de partículas subatômicas que haviam sido descobertas até a década de 1940. Isso nos faz pensar o quão elementares essas partículas elementares realmente serão.)

A feiura do Modelo Padrão pode ser comparada com a simplicidade das equações de Einstein, em que tudo foi deduzido de princípios básicos. Para compreender o contraste estético entre o Modelo Padrão e a teoria da relatividade geral de Einstein, devemos entender que, quando físicos falam de "beleza" em suas teorias, o que eles têm de fato em mente são pelo menos duas características essenciais:

1. Simetria unificadora.
2. Capacidade de explicar vastas quantidades de dados experimentais com as expressões matemáticas mais econômicas.

O Modelo Padrão falha sob os dois aspectos. Sua simetria, como vimos, é de fato formada pela emenda de três simetrias menores, uma para cada uma das três forças. Segundo, a teoria é pesada e desajeitada em sua forma. Ela certamente não é nada econômica. Por exemplo, as equações de Einstein completamente escritas têm cerca de dois centímetros e meio de comprimento e não preencheriam sequer uma linha deste livro. A partir dessa linha de equações, podemos ir além das leis de Newton e derivar o empenamento do espaço, o Big Bang, e outros fenômenos astronomicamente importantes. No entanto, só para escrever o Modelo Padrão em sua totalidade seriam necessários dois terços desta página e a aparência seria a de uma torrente de símbolos complexos.

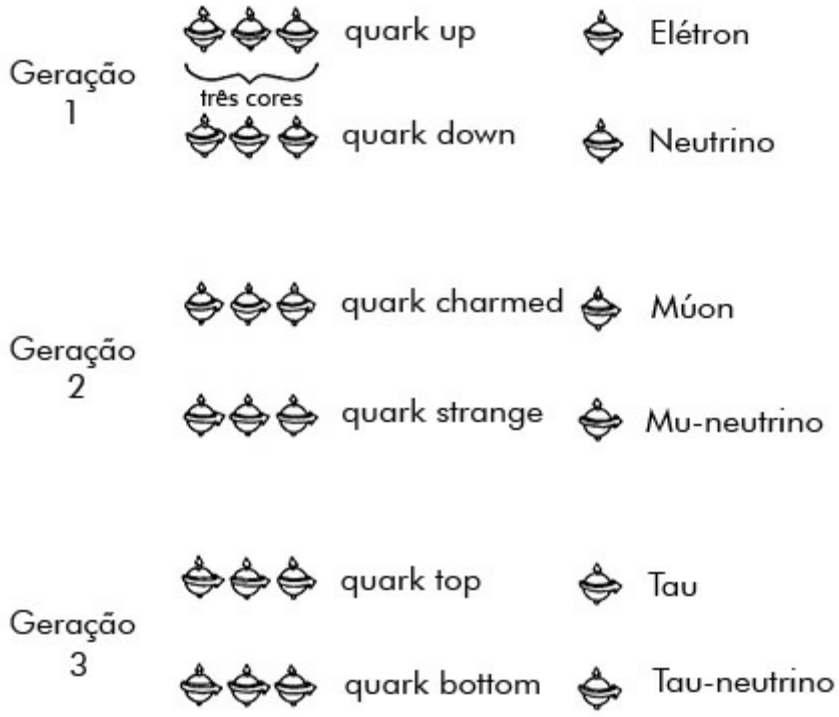


Figura 5.4. No Modelo Padrão, a primeira geração de partículas consiste nos quarks "up" e "down" (em três cores, com suas antipartículas associadas) e o elétron e o neutrino. A característica embaraçosa do Modelo Padrão é que há três gerações de tais partículas, cada uma sendo quase a cópia exata da geração anterior. É difícil acreditar que a natureza seria redundante a ponto de criar, num nível fundamental, três cópias idênticas de partículas.

A natureza, os cientistas gostam de acreditar, prefere a economia em suas criações e sempre parece evitar redundâncias desnecessárias ao criar estruturas físicas, biológicas e químicas. Quando a natureza cria ursos panda, moléculas de proteína ou buracos negros está poupando em seu projeto. Ou como o prêmio Nobel C. N. Yang disse uma vez: "A natureza parece tirar proveito das representações matemáticas simples das leis de simetria. Quando paramos para considerar a elegância e a bela perfeição do raciocínio matemático envolvido em contraste com a complexidade e o grande alcance das consequências físicas, um profundo senso de respeito pelo poder das leis de simetria nunca deixa de se desenvolver."[6] No entanto, no nível mais fundamental, encontramos uma flagrante violação dessa regra. A existência de três famílias idênticas, cada uma com um bizarro sortimento de partículas, é uma das características mais perturbadoras do Modelo Padrão e suscita um problema persistente para os físicos: deveria o Modelo Padrão, a teoria mais espetacularmente bem-sucedida na história da ciência, ser descartado só porque é feio?

A BELEZA É NECESSÁRIA?

Uma vez assisti a um concerto em Boston em que as pessoas ficaram visivelmente comovidas pela força e a intensidade da Nona Sinfonia de Beethoven. Depois do concerto, com as

magníficas melodias ainda em minha mente, passei por acaso pelo poço vazio da orquestra, onde percebi algumas pessoas olhando maravilhadas para a partitura deixada pelos músicos.

Para o olho não cultivado, pensei, o registro musical mesmo da mais comovente peça de música deve parecer uma massa grosseira de rabiscos, mais semelhante a uma mixórdia caótica de garatujas que a uma bela obra de arte. No entanto, para o ouvido cultivado de um músico, essa massa de compassos, claves, tonalidades, sustenidos, bemóis e notas ganha vida e ressoa na mente. Um músico pode "ouvir" belas harmonias e magníficas ressonâncias simplesmente olhando uma partitura musical. Uma partitura, portanto, é mais do que a mera soma de suas linhas.

De maneira semelhante, seria um desserviço definir um poema como "um curto conjunto de palavras organizadas segundo algum princípio". A definição não só é estéril, como é em última análise imprecisa porque não é capaz de levar em conta a sutil interação entre o poema e as emoções que ele evoca no leitor. Os poemas, porque cristalizam e transmitem os sentimentos e as imagens do autor, têm uma realidade muito maior que as palavras impressas numa folha de papel. Umas poucas e curtas palavras de um poema *haiku*, por exemplo, podem transportar o leitor para um novo reino de sensações e sentimentos.

Como a música ou a arte, equações matemáticas podem ter uma progressão natural e uma lógica que podem evocar raras paixões num cientista. Embora o público leigo considere as equações matemáticas bastante opacas, para um cientista uma equação é algo muito semelhante a um movimento numa sinfonia maior.

Simplicidade, elegância. Estas são as qualidades que inspiraram alguns dos maiores artistas a criar suas obras-primas, e são precisamente essas mesmas qualidades que motivam os cientistas a investigar em busca das leis da natureza. Como uma obra de arte ou um poema obsedante, as equações têm uma beleza e um ritmo próprios.

O físico Richard Feynman expressou isso quando disse:

> Você pode reconhecer a verdade por sua beleza e simplicidade. Quando você a apreende corretamente, é óbvio que ela é correta – pelo menos se você tem alguma experiência – porque em geral o que acontece é que mais sai do que entra nela... Os inexperientes, os birutas e pessoas assim, fazem suposições simples, mas você pode perceber imediatamente que eles estão errados, de modo que isso não conta. Outros, os estudantes inexperientes, fazem suposições que são muito complicadas, e de certo modo parece que está tudo certo, mas sei que não é verdade porque a verdade sempre se revela mais simples do que você pensava.[7]

O matemático francês Henri Poincaré disse o mesmo ainda com maior franqueza quando escreveu: "O cientista não estuda a Natureza porque ela é útil; estuda-a porque se delicia com ela, e se delicia com ela porque ela é bela. Se a natureza não fosse bela, não valeria a pena

conhecê-la, e se não valesse a pena conhecer a Natureza, não valeria a pena viver." Em certo sentido, as equações da física são como poemas da natureza. Elas são curtas e organizadas segundo algum princípio, e as mais belas entre elas transmitem as simetrias ocultas da natureza.

Por exemplo, as equações de Maxwell, como lembramos, consistiam originalmente em oito equações. Essas equações não são "belas". Não possuem muita simetria. Em sua forma original, são feias, mas são o esteio de todo físico ou engenheiro que algum dia ganhou a vida trabalhando com radar, rádio, micro-ondas, *lasers* ou plasmas. Essas oito equações são o que um agravo é para um advogado, ou um estetoscópio é para um médico. No entanto, quando reescritas usando-se o tempo como a quarta dimensão, esse conjunto bastante desajeitado de oito equações reduz-se a uma única equação tensorial. Isso é o que os físicos chamam de "beleza", porque agora os dois critérios estão satisfeitos. Ao aumentar o número de dimensões, revelamos a verdadeira simetria, quadridimensional, da teoria e podemos agora explicar vastas quantidades de dados experimentais com uma única equação.

Como dissemos repetidamente, a adição de dimensões causa a simplificação das leis da natureza.

Um dos maiores mistérios com que a ciência se confronta hoje é a explicação da origem dessas simetrias, especialmente no mundo subatômico. Quando nossas poderosas máquinas explodem os núcleos dos átomos atingindo-os com energias acima de 1 trilhão de elétrons-volt, descobrimos que os fragmentos podem ser arranjados segundo essas simetrias. Algo raro e precioso está inquestionavelmente acontecendo quando sondamos distâncias subatômicas.

O propósito da ciência, no entanto, não é maravilhar-se com a elegância das leis naturais, mas explicá-las. O problema fundamental que os físicos subatômicos enfrentam é que, historicamente, não tínhamos nenhuma ideia de *por que* essas simetrias emergiam em nossos laboratórios e em nossos quadros-negros.

E esta é precisamente a razão por que o Modelo Padrão fracassa. Por mais bem-sucedida que seja a teoria, os físicos acreditam universalmente que ela deve ser substituída por uma teoria mais elevada. Ela fracassa nos dois "testes" de beleza. Nem tem um único grupo de simetria nem descreve o mundo subatômico economicamente. Mais importante ainda, porém, o Modelo Padrão não explica de onde essas simetrias provêm originalmente. Elas estão simplesmente emendadas umas às outras por decisão arbitrária, sem nenhuma compreensão mais profunda de sua origem.

O físico Ernest Rutherford, que descobriu o núcleo do átomo, disse uma vez: "Toda ciência é física ou coleção de selos."[8]

Com isso, queria dizer que a ciência consiste em duas partes. A primeira é a física, que tem como fundamento leis ou princípios físicos. A segunda é a taxonomia ("coleta de insetos" ou coleção de selos), que consiste em dar eruditos nomes gregos a objetos sobre os quais você não sabe quase nada, com base em similaridades superficiais. Nesse sentido, o Modelo Padrão não é verdadeira física; mais se parece com coleção de selos, o arranjo das partículas subatômicas segundo algumas simetrias superficiais, mas sem a mais vaga ideia sobre de onde essa simetria vem.

De maneira semelhante, quando Charles Darwin intitulou seu livro *Sobre a origem das espécies*, ele estava indo muito além da taxonomia, dando a explicação lógica para a diversidade dos animais na natureza. O que é necessário em física é um equivalente desse livro, que se intitularia *Sobre a origem da simetria*, que explique as razões por que certas simetrias são encontradas na natureza.

Como o Modelo Padrão é tão forjado, ao longo dos anos foram feitas tentativas para superá-lo, com variado sucesso. Uma tentativa proeminente foi chamada Teoria da Grande Unificação (GUT, de Grand Unified Theory), popular no final da década de 1970, que tentou unir as simetrias dos *quanta* fortes, fracos e eletromagnéticos arranjando-os num grupo de simetria muito mais amplo [por exemplo, SU(5), O(10), ou E(6)]. Em vez de emendar ingenuamente os grupos de simetrias das três forças, as GUTs tentaram partir de uma simetria maior que exigia um menor número de constantes arbitrárias e de pressupostos. As GUTs aumentaram vastamente o número de partículas além do Modelo Padrão, mas a vantagem era que o feio SU(3) x SU(2) x U(1) era agora substituído por um único grupo de simetria. A mais simples dessas GUTs, chamada SU(5), usou 24 campos de Yang-Mills, mas pelo menos todos eles pertenciam a uma única simetria, não a três separadas.

A vantagem estética das GUTs foi que elas puseram os quarks de interação forte e os léptons de interação fraca no mesmo pé. Em SU(5), por exemplo, um multipleto de partículas consistia em três quarks coloridos, um elétron e um neutrino. Sob uma rotação de SU(5), essas cinco partículas podiam girar uma na outra sem mudar a física.

De início, as GUTs foram recebidas com intenso ceticismo, porque a energia em que as três forças fundamentais eram unificadas situava-se em torno de 10^{15} bilhões de elétrons-volt, só um pouco menor que a energia de Planck. Isso era muito superior à energia de qualquer acelerador de partículas na Terra, e era desencorajador. No entanto, os físicos gradualmente tomaram interesse pela ideia das GUTs quando se compreendeu que elas faziam uma previsão

clara, testável: a desintegração do próton.

Lembramos que, no Modelo Padrão, uma simetria como SU(3) pode se transformar em três quarks um no outro; isto é, um multipleto consiste em três quarks. Isso significa que cada um dos quarks se transforma em um dos outros quarks sob certas condições (como a troca de uma partícula de Yang-Mills). No entanto, quarks não podem se transformar em elétrons. Os multipletos não se misturam. Mas em SU(5), há cinco partículas num multipleto que podem se transformar uma na outra: três quarks, o elétron e o neutrino. Isso significa que se pode, sob certas circunstâncias, transformar um próton (feito de quarks) num elétron ou num neutrino. Em outras palavras, as GUTs declaram que o próton, que por tanto tempo foi considerado uma partícula estável, com um tempo de vida infinito, é na realidade instável. Em princípio, isso significa também que todos os átomos no universo irão acabar se desintegrando em radiação. Se correto, significa que os elementos químicos, que aprendemos nas aulas de química elementar serem estáveis, são na realidade instáveis.

Isso não significa que devemos esperar que os átomos de nosso corpo se desintegrem numa explosão de radiação a qualquer hora. O tempo para a desintegração do próton em léptons foi calculado como sendo da ordem de 10^{31} anos, muito além do tempo de vida do universo (15 bilhões a 20 bilhões de anos). Embora essa escala fosse astronomicamente longa, isso não desconcertou os experimentalistas. Como um tanque comum de água contém uma extraordinária quantidade de prótons, há uma probabilidade mensurável de que *algum* próton dentro dele venha a se desintegrar, ainda que os prótons *na média* se desintegrem numa escala de tempo cosmológica.

A BUSCA DA DESINTEGRAÇÃO DO PRÓTON

Passados poucos anos, esse cálculo teórico abstrato foi posto à prova: vários experimentos caros, de muitos milhões de dólares, foram conduzidos por vários grupos de físicos pelo mundo todo. A construção de detectores sensíveis o bastante para registrar a desintegração do próton envolveu técnicas extremamente caras e sofisticadas. Em primeiro lugar, os experimentalistas precisaram construir enormes tanques em que detectar a desintegração do próton. Depois tiveram de encher os tanques com um fluido rico em hidrogênio (como água ou fluido de limpeza) que tinha de ser filtrado com técnicas especiais para que todas as impurezas e contaminantes fossem eliminados. Mais importante, tiveram de enterrar profundamente esses tanques gigantescos para eliminar qualquer contaminação de raios cósmicos extremamente penetrantes. E por fim tiveram de construir milhares de detectores

extremamente sensíveis para registrar os débeis traços de partículas subatômicas emitidos pela desintegração do próton.

No fim da década de 1980, seis detectores gigantescos estavam em operação em torno do mundo, como o detector Kamioka no Japão e o detector IMB (Irvine, Michigan, Brookhaven) perto de Cleveland, Ohio. Eles continham vastas quantidades de fluido puro (como água) e se distribuíam em peso de 54 a 2.990 toneladas. (O detector IMB, por exemplo, é o maior do mundo e está contido num imenso cubo de 20 metros escavado numa mina de sal abaixo do lago Erie. Qualquer próton que se desintegrasse espontaneamente na água purificada iria produzir um microscópico estouro de luz, que por sua vez seria detectado por algum dos 2.048 tubos fotoelétricos.)

Para entender como esses monstruosos detectores podem medir o tempo de vida do próton, pense por analogia na população americana. Sabemos que o americano médio pode esperar viver na ordem dos setenta anos. No entanto, não temos de esperar setenta anos para encontrar mortes. Como há tantos americanos, de fato mais de 250 milhões, esperamos encontrar alguns americanos morrendo a intervalos de poucos minutos. Da mesma maneira, a mais simples GUT SU(5) previu que a meia-vida do próton deveria ser de 10^{29} anos, isto é, após 10^{29} anos, *metade* dos prótons no universo terá se desintegrado.[k] (Por comparação, este é um tempo cerca de 10 bilhões de bilhões de vezes mais longo que o tempo de vida do próprio universo.) Embora tudo isso pareça um enorme tempo de vida, esses detectores teriam sido capazes de ver esses eventos raros e fugazes simplesmente por haver tantos prótons no detector. De fato, cada tonelada de água contém mais de 10^{29} prótons. Com tantos prótons, espera-se que um punhado deles se desintegre a cada ano.

No entanto, por mais que esperassem, os experimentalistas não viram nenhum sinal preciso de quaisquer desintegrações de prótons. Atualmente, parece que os prótons devem ter um tempo de vida maior que 10^{32} anos, o que descarta as GUTs mais simples, mas ainda deixa aberta a possibilidade de GUTs mais complexas.

Inicialmente, certo grau de excitação em torno das GUTs transbordou para a mídia. A busca de uma teoria unificada da matéria e a investigação em torno da desintegração do próton chamaram a atenção de produtores de ciência e de escritores. “Nova”, da televisão pública, dedicou uma série de programas a isso, e livros populares e numerosos artigos em revistas dedicadas à ciência foram escritos a respeito. No entanto no fim da década de 1980 a fanfarra já se desvanecera. Por mais que os físicos esperassem a desintegração do próton, o próton simplesmente não cooperava. Depois que dezenas de milhões de dólares haviam sido gastos por várias nações na expectativa desse evento, ele ainda não fora registrado. O interesse

público nas GUTs começou a murchar.

O próton ainda pode se desintegrar, e as GUTs podem ainda se provar corretas, mas agora os físicos estão muito mais cautelosos em aclamar as GUTs como a "teoria final", por várias razões. Como ocorria com o Modelo Padrão, as GUTs não fazem nenhuma menção à gravidade. Se combinarmos ingenuamente as GUTs com a gravidade, a teoria produz números que são infinitos e portanto não fazem sentido. Como o Modelo Padrão, as GUTs não são renormalizáveis. Além disso, a teoria é definida em energias enormes, em que certamente esperamos que efeitos gravitacionais apareçam. Assim, a ausência da gravidade na teoria GUT é um sério inconveniente. Ademais, ela é também afligida pela presença misteriosa de três cópias-carbono ou famílias de partículas. E, finalmente, a teoria não poderia prever as constantes fundamentais, como as das massas dos quarks. As GUTs careciam de um princípio físico mais amplo que estipularia as massas dos quarks e outras constantes a partir de princípios básicos. Por fim, revelou-se que as GUTs também são coleção de selos.

O problema fundamental foi que o campo de Yang-Mills não era suficiente para fornecer a "cola" para unir todas as quatro interações. O mundo da madeira, tal como descrito pelo campo de Yang-Mills, não era suficientemente poderoso para explicar o mundo de mármore.

Após meio século de letargia, chegou a hora da "desforra de Einstein".

---

h. Tigre! Tigre! brilhando como fogo / nas florestas da noite, /Que mão imortal, que olho / Pôde forjar tua terrível simetria? (N. da T.)

i. Você o ferve na serragem; / Depois o salga com cola: / E o condensa com gafanhotos em tira: / Sempre sem perder de vista um objetivo principal – Preservar-lhe a forma simétrica. (N. da T.)

j. SU representa matrizes "unitárias especiais" – isto é, matrizes que têm determinante unitário e são unitárias.

k. *Meia-vida* é a quantidade de tempo necessária para que metade de uma substância se desintegre. Após duas meias-vidas, somente um quarto da substância permanece.

6

A desforra de Einstein

A supersimetria é a proposta final para uma unificação completa de todas as partículas.
Abdus Salam

A RESSURREIÇÃO DE KALUZA-KLEIN

Ele foi chamado "o maior problema científico de todos os tempos". A imprensa apelidou-o de "Santo Graal" da física, a busca de unir a teoria quântica com a gravidade, criando assim uma Teoria de Tudo. Esse é o problema que frustrou os melhores cérebros do século XX. Sem nenhuma dúvida, a pessoa que o resolver vai ganhar o prêmio Nobel.

Na altura da década de 1980, os físicos estavam chegando a um impasse. Somente a gravidade permanecia teimosamente isolada e distante das outras forças. Ironicamente, embora a teoria clássica da gravidade tenha sido a primeira a ser compreendida através da obra de Newton, a teoria quântica da gravidade foi a última interação a ser compreendida pelos físicos.

Todos os gigantes da física fizeram uma tentativa de resolver esse problema, e todos fracassaram. Einstein devotou os últimos trinta anos de sua vida à sua teoria unificada de campo. Até o grande Werner Heisenberg, um dos criadores da teoria quântica, passou os últimos dias de sua vida buscando sua versão de uma teoria unificada de campo, tendo chegado até a publicar um livro sobre o assunto. Em 1958, Heisenberg chegou mesmo a divulgar pelo rádio que ele e seu colega Wolfgang Pauli haviam finalmente conseguido encontrar a teoria unificada de campo, e que faltavam apenas detalhes técnicos. (Quando essa assombrosa declaração vazou para a imprensa, Pauli ficou furioso por Heisenberg ter feito esse anúncio prematuro. Enviou a seu colaborador uma carta que consistia em uma folha de papel em branco com a legenda: "Isto é para mostrar ao mundo que posso pintar como Ticiano. Faltam apenas detalhes técnicos."[1])

Mais tarde nesse ano, quando Wolfgang Pauli finalmente deu uma conferência sobre a teoria unificada de campo Heisenberg-Pauli, muitos físicos ávidos estavam na plateia, ansiosos por ouvir os detalhes que faltavam. Quando ele terminou, porém, sua palestra recebeu uma resposta mista. Niels Bohr levantou-se e disse: "Todos concordamos que sua teoria é maluca. A questão que nos divide é se ela é maluca o bastante."[2] De fato, foram feitas tantas tentativas de chegar à "síntese final" que isso criou uma reação de ceticismo. O

prêmio Nobel Julian Schwinger disse: "Não passa de mais um sintoma da ânsia que aflige cada geração de físicos – a comichão de ter todas as questões fundamentais respondidas durante suas vidas."[3]

No entanto, na altura da década de 1980, a "teoria quântica da madeira", após meio século de sucesso quase ininterrupto, estava começando a perder o gás. Posso me lembrar vividamente do sentimento de frustração reinante entre jovens físicos exaustos durante esse período. Todo mundo tinha a impressão de que o Modelo Padrão estava sendo morto por seu próprio sucesso. Ele fora tão bem-sucedido que toda conferência internacional de física parecia simplesmente mais um ato de aprovação superficial. Todas as palestras diziam respeito a mais um enfadonho sucesso experimental do Modelo Padrão. Numa conferência de física, olhei para o público atrás de mim e verifiquei que metade das pessoas estava caindo lentamente num cochilo; o palestrante falava monotonamente, com gráfico após gráfico, mostrando como se podia constatar que os últimos dados estavam de acordo com o Modelo Padrão.

Sentia-me como os físicos da virada do século. Também eles pareciam estar se vendo num beco sem saída. Passaram décadas construindo tediosamente tabelas de números para as linhas espectrais dos vários gases, ou calculando as soluções para as equações de Maxwell para superfícies de metal cada vez mais complicadas. Como o Modelo Padrão tinha 19 parâmetros livres que podiam ser arbitrariamente "regulados" para qualquer valor, como os botões de um rádio, eu imaginava que os físicos passariam décadas encontrando os valores precisos de todos os 19 parâmetros.

Chegara a hora de uma revolução. O que atraiu a geração seguinte de físicos foi o mundo de mármore.

Evidentemente, vários problemas se interpunham no caminho de uma genuína teoria quântica da gravidade. Um problema em se construir uma teoria da gravidade é que a força é enlouquecedoramente fraca. Por exemplo, é preciso toda a massa da Terra para segurar pedaços de papel na minha escrivaninha. No entanto, passando um pente no cabelo, sou capaz de levantar esses pedaços de papel, sobrepujando a força do planeta Terra. Os elétrons em meu pente são mais poderosos que a atração gravitacional de todo o planeta. Da mesma maneira, se eu fosse tentar construir um "átomo" com elétrons atraídos para o núcleo pela força gravitacional e não pela força elétrica, o átomo teria o tamanho do universo.

Classicamente, vemos que a força gravitacional é negligenciável se comparada com a força eletromagnética, e por isso é extraordinariamente difícil medi-la. Mas se tentamos escrever uma teoria quântica da gravidade, a mesa vira. As correções quânticas devidas à gravidade

são da ordem da energia de Planck, ou 10^{19} bilhões de elétrons-volt, muito além de qualquer coisa que se possa conseguir no planeta Terra neste século. Essa situação desconcertante se agrava quando tentamos construir uma teoria completa da gravidade quântica. Estamos lembrados de que, quando os físicos quânticos tentam quantizar uma força, eles a quebram em minúsculos pacotes de energia, chamados *quanta*. Se você tentar quantizar cegamente a teoria da gravidade, vai postular que ela funciona pela troca de minúsculos pacotes de gravidade, chamados de *grávitons*. A rápida troca de grávitons entre matéria é o que a mantém coesa gravitacionalmente. Nesse quadro, o que nos mantém presos ao solo, e nos impede de voar para o espaço exterior a mil quilômetros por hora, é a troca invisível de trilhões de partículas de grávitons. Mas sempre que os físicos tentavam efetuar cálculos simples para determinar correções quânticas nas leis da gravidade de Newton e Einstein, constatavam que o resultado era infinito, o que era inútil.

Vamos examinar, por exemplo, o que acontece quando duas partículas eletricamente neutras se chocam. Para calcular os diagramas de Feynman para essa teoria, temos de fazer uma aproximação; supomos assim que a curvatura espaço-tempo é pequena, e portanto o tensor métrico de Riemann é próximo de 1. Para uma primeira conjetura, supomos que o espaço-tempo está perto de ser plano, não curvo, então dividimos os componentes do tensor métrico como $g_{11} = 1 + h_{11}$, em que 1 representa espaço plano em nossas equações e h_{11} é o campo de grávitons. (Einstein, é claro, se horrorizava com a ideia de que os físicos quânticos mutilavam suas equações deste modo, fragmentando o tensor métrico. É como tomar um belo pedaço de mármore e golpeá-lo a marteladas para quebrá-lo.) Depois que essa mutilação é operada, chegamos a uma teoria quântica de aspecto convencional. Na Figura 6.1 (a), vemos que as duas partículas neutras trocam um *quantum* de gravidade, rotulado pelo campo *h*.

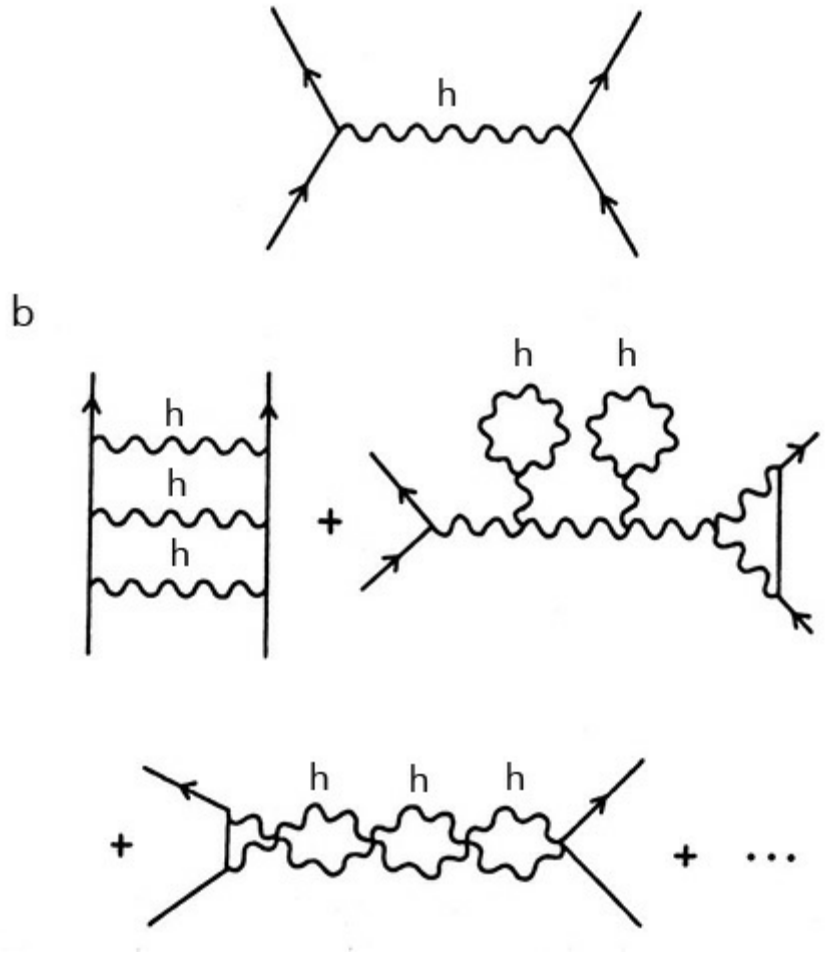


Figura 6.1. (a) Na teoria quântica, um quantum *da força gravitacional, rotulado* h, *é chamado gráviton, que é formado pela fragmentação da métrica de Riemann. Nesta teoria, os objetos interagem trocando esse pacote de gravidade. Desse modo, perdemos por completo a bela representação geométrica de Einstein. (b) Infelizmente, todos os diagramas que contêm laços são infinitos, o que impediu uma unificação da gravidade com a teoria quântica no último meio século. Uma teoria quântica da gravidade que a una com as outras forças é o Santo Graal da física.*

O problema surge quando somamos todos os diagramas de laço: descobrimos que eles divergem, como na Figura 6.1 (b). Para o campo de Yang-Mills, podíamos usar truques espertos de prestidigitação para embaralhar essas quantidades infinitas até que elas se cancelassem ou fossem absorvidas em quantidades que não podem ser medidas. No entanto, pode ser demonstrado que as prescrições habituais de renormalização fracassam por completo quando as aplicamos a uma teoria quântica da gravidade. De fato, os esforços dos físicos ao longo de meio século para eliminar ou absorver essas infinidades foram em vão. Em outras palavras, a tentativa de esfacelar o mármore na força bruta fracassou miseravelmente.

Depois, no início da década de 1980, um curioso fenômeno aconteceu. A teoria Kaluza-Klein, como nos lembramos, estivera adormecida durante sessenta anos. Mas os físicos estavam tão frustrados em suas tentativas de unificar a gravidade com as outras forças quânticas que começaram a superar seu preconceito em relação a dimensões invisíveis e hiperespaço. Estavam prontos para uma alternativa, e essa foi a teoria Kaluza-Klein.

O falecido físico Heinz Pagels resumiu esse entusiasmo em torno da reemergência da teoria Kaluza-Klein:

> Após a década de 1930, a ideia de Kaluza-Klein caiu em desfavor, e por muitos anos permaneceu adormecida. Recentemente, porém, quando os físicos buscavam qualquer saída possível para a unificação da gravidade com outras forças, ela saltou de novo para a proeminência. Hoje, em contraste com a década de 1920, os físicos se veem desafiados a fazer mais do que unificar a gravidade com o eletromagnetismo apenas – eles querem unificar a gravidade também com as interações forte e fraca. Isso requer ainda mais dimensões, além da quinta.[4]

Até o prêmio Nobel Steven Weinberg foi contaminado pelo entusiasmo gerado pela teoria de Kaluza-Klein. No entanto, ainda havia físicos céticos em relação ao renascimento de Kaluza-Klein. Howard Georgi, de Harvard, lembrando a Weinberg como é difícil medir experimentalmente essas dimensões compactadas que se enroscaram, compôs o seguinte poema:

> Steven Weinberg, de volta do Texas
> traz bandos de dimensões para nos perturbar
> Mas as dimensões extras estão
> todas enroladas numa bola
> tão pequena que isso nunca nos afeta.[5]

Embora a teoria Kaluza-Klein continuasse não renormalizável, o que desencadeou o intenso interesse pela teoria foi que ela dava a esperança de uma teoria feita de mármore. Transformar a feia e confusa mixórdia de madeira no puro e elegante mármore da geometria era, é claro, o sonho de Einstein. Mas nas décadas de 1930 e 1940 quase nada se sabia sobre a natureza da madeira. No entanto, na altura da década de 1970, o Modelo Padrão havia finalmente desvendado o segredo da madeira: que a matéria consiste em quarks e léptons mantidos coesos pelo campo de Yang-Mills, obedecendo à simetria SU(3) x SU(2) x U(1). O problema agora era como derivar essas partículas e simetrias misteriosas a partir do mármore.

De início, isso parecia impossível. Afinal, essas simetrias são o resultado do intercâmbio de partículas pontuais entre si. Se N quarks num multipleto são embaralhados uns com os outros, a simetria é SU(N). Essas simetrias pareciam ser exclusivamente as simetrias da madeira, não do mármore. Que tinha SU(N) a ver com geometria?

A TRANSFORMAÇÃO DA MADEIRA EM MÁRMORE

A primeira pequena pista surgiu na década de 1960, quando os físicos descobriram, para seu grande deleite, que há um caminho alternativo para se introduzir simetrias na física. Quando ampliaram a velha teoria pentadimensional de Kaluza-Klein para N-dimensões, eles

compreenderam que se tem a liberdade de impor uma simetria ao hiperespaço. Quando a quinta dimensão estava enroscada, os físicos descobriram que o campo de Maxwell brotava do tensor métrico de Riemann. Mas quando *N*-dimensões estavam enroscadas, eles descobriram o célebre campo de Yang-Mills, a chave para o Modelo Padrão, brotando de suas equações!

Para ver como a simetria emerge do espaço, considere uma bola de praia comum. Ela tem simetria. Podemos girá-la em torno de seu centro e a bola conserva sua forma. A simetria de uma bola de praia, ou uma esfera, é chamada O(3), ou rotações em três dimensões. Da mesma maneira, dimensões múltiplas, uma hiperesfera pode também girar em torno de seu centro e manter sua forma. A hiperesfera tem uma simetria chamada O(*N*).

Agora pense em fazer a bola de praia vibrar. Ondulações se formam na sua superfície. Se fizermos a bola vibrar cuidadosamente de determinada maneira, poderemos induzir nela vibrações regulares que são chamadas de *ressonâncias*. Essas ressonâncias, diferentemente de ondulações ordinárias, só podem vibrar a certas frequências. De fato, fazendo a bola de praia vibrar com suficiente rapidez, podemos criar sons musicais de frequência definida. Essas vibrações, por sua vez, podem ser catalogadas pela simetria O(3).

O fato de uma membrana, como uma bola de praia, poder induzir frequências de ressonância é um fenômeno comum. As cordas vocais de nossa garganta, por exemplo, são membranas esticadas que vibram em frequências definidas, ou ressonâncias, e por isso podem produzir sons musicais. Outro exemplo é nossa audição. Ondas sonoras de todos os tipos invadem nossos tímpanos, que então ressoam em frequências definidas. Essas vibrações são então transformadas em sinais elétricos que são enviados ao nosso cérebro, que os interpreta como sons. Este é também o princípio que está por trás do telefone. O diafragma metálico contido em qualquer telefone é posto em movimento por sinais elétricos no fio telefônico. Isso cria vibrações mecânicas ou ressonâncias no diafragma, que por sua vez gera as ondas sonoras que ouvimos ao telefone. Este é também o princípio por trás dos alto-falantes estereofônicos, bem como das baterias de orquestras.

No caso de uma hiperesfera, o efeito é o mesmo. Como uma membrana, ela pode ressoar em várias frequências, que por sua vez podem ser determinadas por sua simetria O(*N*). Como alternativa, os matemáticos inventaram superfícies mais sofisticadas em dimensões mais altas que são descritas por números complexos. (Números complexos usam a raiz quadrada de -1, $\sqrt{-1}$.) Em seguida pode-se mostrar diretamente que a simetria correspondente a uma "hiperesfera" complexa é SU(*N*).

A questão-chave agora é: se a função de onda de uma partícula vibra ao longo de sua

superfície, ela vai herdar a simetria SU(N). Assim, as misteriosas simetrias SU(N) que surgem nas partículas subatômicas podem agora ser vistas como *subprodutos de hiperespaço em vibração!* Em outras palavras, temos agora uma explicação para as misteriosas simetrias da madeira: elas são na realidade simetrias ocultas vindas do mármore.

Se pegarmos agora a teoria Kaluza-Klein definida em 4 + N-dimensões e então enroscarmos N-dimensões, vamos verificar que as equações se partem em dois pedaços. O primeiro pedaço são as equações usuais de Einstein, que recuperamos como era de se esperar. Mas o segundo pedaço não será a teoria de Maxwell. Descobrimos que o que resta é precisamente a teoria de Yang-Mills, que forma a base de toda a física subatômica! Esta é a chave para a transformação das simetrias da madeira nas simetrias do mármore.

De início, parece quase sobrenatural que as simetrias da madeira, descobertas penosamente por tentativa e erro – isto é, pelo trabalhoso exame dos escombros gerados nos aceleradores de partículas –, surjam quase automaticamente de dimensões mais elevadas. É miraculoso que as simetrias encontradas embaralhando quarks e léptons uns com os outros surjam do hiperespaço. Uma analogia pode nos ajudar a entender isso. A matéria pode ser comparada à argila, que é sem forma e encaroçada. A argila carece de belas simetrias inerentes às figuras geométricas. No entanto, ela pode ser calcada num molde, o qual pode ter simetria. Por exemplo, um molde pode preservar sua forma se for girado num certo ângulo. Nesse caso a argila vai também herdar a simetria do molde. A argila, como a matéria, herda sua simetria porque o molde, como o espaço-tempo, tem uma simetria.

Se isto está correto, significa que as estranhas simetrias que vemos entre os quarks e os léptons, que foram descobertas em grande parte por acidente ao longo de várias décadas, podem agora ser vistas como subprodutos de vibrações no hiperespaço. Por exemplo, se as dimensões invisíveis têm a simetria SU(5), podemos escrever a GUT SU(5) como uma teoria Kaluza-Klein.

Isso pode ser visto também a partir do tensor de Riemann. Observamos que ele lembra o campo de Faraday, com a diferença de que tem muito mais componentes. Ele pode ser arranjado como as casas de um tabuleiro de xadrez. Separando a quinta coluna e a quinta fileira do tabuleiro, podemos isolar o campo de Maxwell do campo de Einstein. Agora operemos o mesmo truque com a teoria Kaluza-Klein em um espaço dimensional (4 + N). Se você separar as N colunas e fileiras das primeiras quatro colunas e fileiras, vai obter um tensor métrico que descreve tanto a teoria de Einstein quanto a teoria Yang-Mills. Na Figura 6.2, cortamos o tensor métrico de uma teoria Kaluza-Klein de (4 + N) dimensões, separando o campo de Einstein do campo Yang-Mills.

Ao que parece, um dos primeiros físicos a operar essa redução foi Bryce DeWitt, da Universidade do Texas, que passou muitos anos estudando a gravidade quântica. Uma vez que esse truque de cindir o tensor métrico foi descoberto, o cálculo para a extração do campo de Yang-Mills tornou-se simples. DeWitt percebeu que extrair o campo de Yang-Mills da teoria *N*-dimensional da gravidade era um exercício matemático tão simples que o passava como dever de casa no Curso de Verão da Escola Les Houches na França em 1963. (Recentemente, foi revelado por Peter Freund que Oskar Klein havia descoberto o campo Yang-Mills de forma independente em 1938, precedendo o trabalho de Yang, Mills e outros por várias décadas. Klein anunciou em uma conferência em Varsóvia que era capaz de generalizar o trabalho de Maxwell para incluir uma simetria mais elevada, O(3). Lamentavelmente, por causa do caos desencadeado pela Segunda Guerra Mundial e porque a teoria Kaluza-Klein fora enterrada pelo entusiasmo gerado pela teoria quântica, esse importante trabalho foi esquecido. É irônico que a teoria Kaluza-Klein tenha sido morta pela emergência da teoria quântica, que hoje se fundamenta no campo de Yang-Mills, descoberto pela primeira vez pela análise da teoria Kaluza-Klein. No afã de desenvolver uma teoria quântica, os físicos haviam ignorado uma descoberta central emanada da teoria Kaluza-Klein).

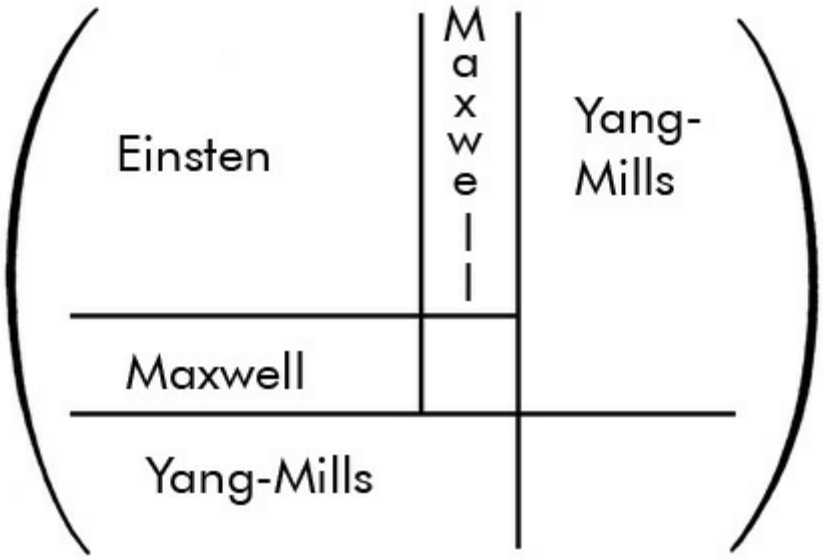


Figura 6.2. Se vamos à enésima dimensão, então o tensor métrico é uma série de N^2 números que podem ser arranjados num bloco N x N. Removendo as quintas e mais altas colunas e fileiras, podemos extrair o campo eletro magnético de Maxwell e o campo de Yang-Mills. Assim, de um só golpe, a teoria do hiperespaço nos permite unificar o campo de Einstein (que descreve a gravidade), o campo de Maxwell (que descreve a força eletromagnética) e o campo de Yang-Mills (que descreve a força fraca e a forte). As forças fundamentais se encaixam exatamente como as peças de um quebra-cabeça.

Extrair o campo de Yang-Mills da teoria Kaluza-Klein foi só o primeiro passo. Embora as simetrias da madeira pudessem agora ser vistas como surgindo das simetrias ocultas de

dimensões invisíveis, o passo seguinte era criar a própria madeira (feita de quarks e léptons) inteiramente a partir do mármore. Esse novo passo seria chamado supergravidade.

SUPERGRAVIDADE

A transformação de madeira em mármore ainda envolvia temíveis problemas porque, segundo o Modelo Padrão, todas as partículas estão "girando". Sabemos agora, por exemplo, que a madeira é feita de quarks e léptons. Estes, por sua vez, têm unidade de spin quântico (medido em unidades da constante de Planck). Partículas com spin semi-integral (1/2, 3/2, 5/2, e assim por diante) são chamadas férmions (em homenagem a Enrico Fermi, o primeiro a investigar suas estranhas propriedades). No entanto, forças são descritas por *quanta* com spin integral. Por exemplo, o fóton, o *quantum* de luz, tem uma unidade de spin. O mesmo ocorre com o campo de Yang-Mills. O gráviton, o pacote hipotético de gravidade, tem duas unidades de spin. Eles são chamados bósons (em homenagem ao físico indiano Satyendra Bose).

Tradicionalmente, a teoria quântica manteve os férmions e os bósons estritamente separados. Na verdade, qualquer tentativa de transformar madeira em mármore iria inevitavelmente colidir com o fato de que os férmions e os bósons são mundos isolados em suas propriedades. Por exemplo SU(*N*) pode embaralhar quarks uns nos outros, mas nunca se espera que férmions e bósons se misturem. Assim a descoberta de uma nova simetria, chamada de *supersimetria*, que fazia exatamente isso teve um efeito de choque. Equações supersimétricas permitem o intercâmbio de um férmion com um bóson e continuam conservando as equações intactas. Em outras palavras, um multipleto de supersimetria consiste em igual número de bósons e férmions. Embaralhando-se os bósons e os férmions dentro do mesmo multipleto, as equações supersimétricas permanecem as mesmas.

Isto nos dá a sedutora possibilidade de pôr *todas* as partículas do universo num multipleto! Como o prêmio Nobel Abdus Salam enfatizou: "A supersimetria é a proposta final para uma completa unificação de todas as partículas."

A supersimetria é baseada num novo tipo de sistema de números que deixaria qualquer professor da escola primária maluco. A maior parte das operações de multiplicação e divisão de que costumamos lançar mão falha para a supersimetria. Assim, por exemplo, se a e b são dois "supernúmeros", então $a \times b = -b \times a$. Isto, é claro, é estritamente impossível para números comuns. Normalmente, qualquer professor primário jogaria esses supernúmeros pela janela, porque é possível mostrar que $a \times a = -a \times a$, ou, em outras palavras, $a \times a = 0$. Se esses fossem números comuns, isso significaria que $a = 0$, e o sistema de números desmorona.

No entanto, com supernúmeros, o sistema não desmorona; temos a afirmação bastante espantosa de que $a \times a = 0$ mesmo quando $a \uparrow 0$. Embora esses supernúmeros violem quase tudo que aprendemos sobre números desde a infância, é possível demonstrar que eles fornecem um sistema coerente e excepcional. Em especial, é possível basear neles um sistema inteiramente novo de supercálculo.

Logo, em 1976, três físicos (Daniel Freedman, Sergio Ferrara e Peter van Nieuwenhuizen, da Universidade Estadual de Nova York, em Stony Brook) formularam a teoria da supergravidade. A supergravidade foi a primeira tentativa realista de construir um mundo inteiramente de mármore. Numa teoria supersimétrica, todas as partículas têm superparceiros, chamados *spartículas*. A teoria da supergravidade do grupo de Stony Brook contém unicamente dois campos; o campo do gráviton de spin dois (que é um bóson) e seu parceiro de spin 3/2, chamado *gravitino* (que significa "pequena gravidade"). Como essas não são partículas suficientes para incluir o Modelo Padrão, foram feitas tentativas de associar a teoria com partículas mais complicadas.

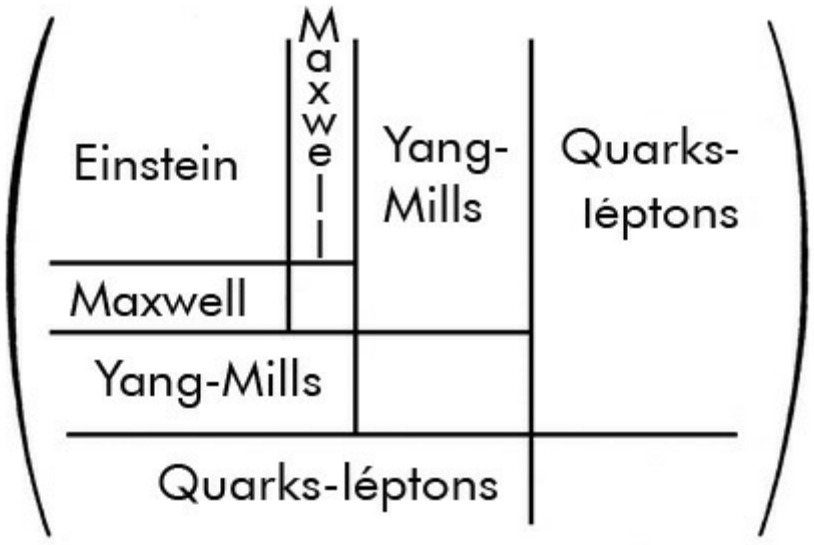


Figura 6.3. A super gravida de quase realiza o sonho de Einstein de dar uma derivação puramente geométrica de todas as forças e partículas no universo. Para ver isso, note que se acrescentarmos supersimetria ao tensor métrico de Riemann, a métrica dobra em tamanho, dando-nos a supermétrica de Riemann. Os novos componentes do supertensor de Riemann correspondem a quarks e léptons. Mas se fatiarmos o supertensor de Riemann em seus componentes, verificamos que ele inclui quase todas as partículas e forças fundamentais da natureza: a teoria da gravidade de Einstein, os campos de Yang-Mills e de Maxwell, e os quarks e os léptons. Mas o fato de certas partículas estarem faltando neste quadro nos força a buscar um formalismo mais poderoso: a teoria das supercordas.

A maneira mais simples de incluir matéria é formular a teoria da supergravidade num espaço de 11 dimensões. Para escrever a superteoria Kaluza-Klein em 11 dimensões, é preciso aumentar vastamente os componentes dentro do tensor de Riemann, que agora se torna

o supertensor de Riemann. Para visualizar como a supergravidade converte madeira em mármore, vamos escrever o tensor métrico e mostrar como a supergravidade consegue ajustar o campo de Einstein, o campo de Yang-Mills e os campos de matéria em um só campo de supergravidade (Figura 6.3). A característica essencial desse diagrama é que a matéria, juntamente das equações de Yang-Mills e de Einstein, está agora incluída no mesmo campo de supergravidade de 11 dimensões. A supersimetria é a simetria que reembaralha a madeira em mármore e vice-versa dentro do campo de supergravidade. Assim eles são todos manifestações da mesma força, a superforça. A madeira já não existe como uma unidade singular, isolada. Agora está fundida com o mármore, para formar supermármore (Figura 6.4).

O físico Peter van Nieuwenhuizen, um dos criadores da supergravidade, ficou profundamente impressionado com as implicações dessa superunificação. Escreveu que a supergravidade "pode unificar teorias da grande unificação... com a gravidade conduzindo a um modelo quase sem parâmetros livres. Ela é a única teoria com uma simetria *gauge* local entre férmions e bósons. É a mais bela teoria *gauge* conhecida, tão bela, de fato, que a Natureza deveria ficar ciente dela!"[6]

Lembro-me com carinho de ouvir e dar palestras em muitas dessas conferências. Havia um sentimento intenso, revigorante de que estávamos no limiar de algo importante. Num encontro em Moscou, lembro-me bem, uma série de entusiasmados brindes foi feita ao contínuo sucesso da teoria da supergravidade. Parecia que estávamos finalmente prestes a realizar o sonho de Einstein de um universo de mármore após sessenta anos de abandono. Alguns de nós, brincando, chamamos aquilo de a "desforra de Einstein".

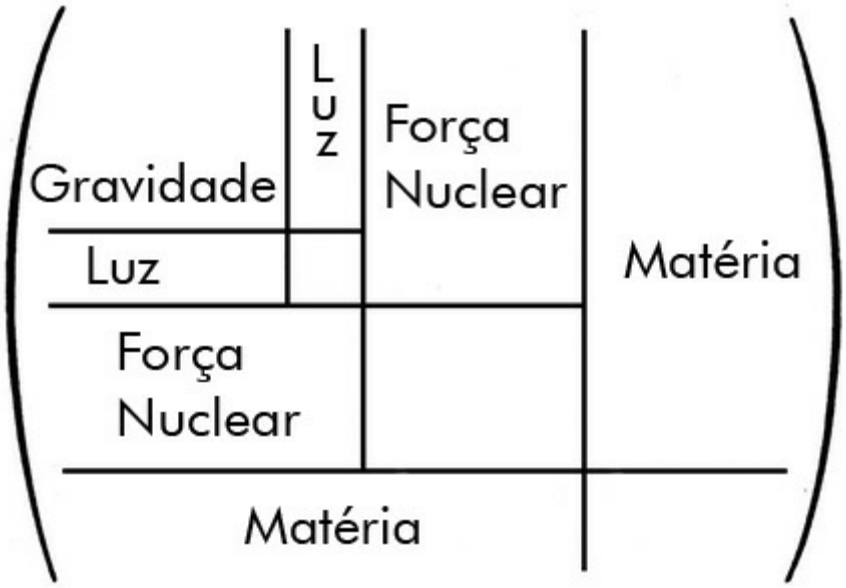


Figura 6.4. Na supergravidade, quase alcançamos a unificação de todas as forças conhecidas (mármore) com a matéria (madeira). Como num quebra-cabeça, elas se encaixam no interior do tensor métrico de Riemann. Isso quase realiza o sonho de Einstein.

Em 29 de abril de 1980, quando o cosmólogo Stephen Hawking assumiu a Cátedra Lucasiana (previamente ocupada por alguns dos imortais da física, entre os quais Isaac Newton e P. A. M. Dirac), ele deu uma palestra com o auspicioso título "Está o fim da física teórica à vista?" Um aluno leu para ele: "Fizemos um grande progresso nos últimos anos e, como eu diria, há alguns fundamentos para um cauteloso otimismo em relação à ideia de que podemos vir a ver uma teoria completa no tempo de vida de alguns dos aqui presentes."

A fama da supergravidade espalhou-se gradualmente pelo público em geral e a teoria começou a ter seguidores até entre grupos religiosos. Por exemplo, o conceito de "unificação" é uma crença que está no cerne do movimento de meditação transcendental. Por isso, seus seguidores publicaram um grande pôster que contém as equações completas que descrevem a supergravidade de 11 dimensões. Cada termo da equação, afirmavam eles, representava algo especial, como "harmonia", "amor", "fraternidade" e assim por diante. (Esse pôster está pendurado na parede no instituto teórico de Stony Brook. Pelo que eu saiba, esta foi a primeira vez que uma equação abstrata produzida por físicos teóricos inspirou seguidores no seio de um grupo religioso!)

SUPERTENSORES MÉTRICOS

A figura de Peter van Nieuwenhuizen sobressai muito nos círculos físicos. Alto, bronzeado, de aparência atlética e bem-vestido, mais parece um ator fazendo propaganda de uma loção para bronzear na televisão que um dos criadores originais da supergravidade. Ele é um físico holandês, atualmente professor em Stony Brook; foi aluno de Veltman, tal como 't Hooft, e por isso tem um antigo interesse na questão da unificação. É um dos poucos físicos que já conheci com uma capacidade verdadeiramente inesgotável para o suplício matemático. O trabalho com supergravidade requer uma extraordinária dose de paciência. Lembremos que o tensor métrico introduzido por Riemann no século XIX tinha somente dez componentes. Agora ele foi substituído pelo supertensor métrico da supergravidade, que tem literalmente centenas de componentes. Isso não é de surpreender, já que, como toda teoria hiperdimensional que pretenda unificar toda a matéria, tem de ter componentes suficientes para descrevê-la, mas aumenta enormemente a complexidade das equações. (De vez em quando pergunto a mim mesmo o que Riemann pensaria, sabendo que, passado um século, seu tensor métrico iria florescer numa supermétrica muitas vezes maior do que tudo que a matemática do século XIX seria capaz de conceber.)

O advento da supergravidade e dos supertensores métricos significou que a quantidade de

matemática que um aluno de pós-graduação precisa dominar explodiu na última década. Como Steven Weinberg observa: "Veja o que aconteceu com a supergravidade. As pessoas que vêm trabalhando com ela nos últimos dez anos são enormemente brilhantes. Algumas são mais brilhantes do que qualquer pessoa que conheci em anos anteriores."[7]

Peter não é somente um soberbo calculador, mas também um lançador de moda. Como os cálculos para uma única equação de supergravidade podem facilmente tomar mais de uma folha de papel, ele acabou por passar a usar grandes blocos de desenho, de tamanho extra. Fui à sua casa um dia e vi como ele trabalhava. Iniciava pela parte superior esquerda do bloco, e começava a escrever suas equações com uma letra microscópica. Passava então a trabalhar ao longo do bloco e por ele abaixo, até que ficasse completamente cheio, então virava a página e começava de novo. Esse processo prosseguia por horas a fio, até que o cálculo estivesse completo. O único momento em que ele se deixava interromper era quando enfiava seu lápis num apontador elétrico que tinha a seu lado, e depois em segundos retomava seu cálculo sem perder um símbolo. Por fim, guardava esses blocos de desenho na sua estante, como se fossem volumes de uma revista científica. Os blocos de Peter logo se tornaram famosos em todo o campus. Logo, a moda pegou; todos os alunos de pós-graduação em física começaram a comprar volumosos blocos de desenho e podiam ser vistos pelo campus transportando-os desajeitada mas orgulhosamente debaixo do braço.

Uma vez, Peter, seu amigo Paul Townsend (agora na Universidade de Cambridge) e eu estávamos colaborando num problema especialmente difícil de supergravidade. O cálculo era tão difícil que consumiu várias centenas de páginas. Como nenhum de nós tinha plena confiança em nossos cálculos, resolvemos nos encontrar na minha sala de jantar e verificar coletivamente nosso trabalho. Estávamos enfrentando um desafio assustador: vários milhares de termos tinham de somar exatamente zero. (Em geral, nós, físicos teóricos, somos capazes de "visualizar" blocos de equações em nossas cabeças e manipulá-las sem ter de usar papel. No entanto, por causa da simples extensão e da delicadeza daquele problema, tínhamos de verificar cada sinal de subtração no cálculo.)

Dividimos então o problema em vários grandes pedaços. Sentados à mesa da sala de jantar, cada um de nós iria calcular atentamente o mesmo pedaço. Depois de cerca de uma hora, iríamos confrontar os resultados. Em geral, dois de nós três tínhamos acertado e o terceiro era solicitado a encontrar seu erro. Passávamos então para o pedaço seguinte, e repetíamos o mesmo processo até que nós três concordássemos quanto à resposta. Essa verificação cruzada repetitiva se prolongou até tarde da noite. Sabíamos que mesmo um único erro em várias centenas de páginas nos daria um cálculo totalmente sem valor. Finalmente,

bem depois da meia-noite, verificamos o termo último e final. Era zero, como tínhamos esperado. Então brindamos ao nosso resultado. (O árduo cálculo havia exaurido até um infatigável burro de carga como Peter. Depois de deixar meu apartamento, ele imediatamente esqueceu onde ficava o novo apartamento de sua mulher em Manhattan. Bateu em várias portas de um prédio, mas só obteve respostas iradas; tinha escolhido o prédio errado. Após uma procura inútil, Peter e Paul tomaram relutantemente o caminho de volta para Stony Brook. Mas como Peter esquecera de substituir um cabo de embreagem, o cabo arrebentou e eles tiveram de empurrar o carro. Acabaram chegando em Stony Brook em seu carro quebrado às 5:00h da manhã!)

O DECLÍNIO DA SUPERGRAVIDADE

Os críticos, no entanto, pouco a pouco começaram a ver problemas na supergravidade. Depois de uma intensa busca, spartículas não foram vistas em nenhum experimento. Por exemplo, o elétron de spin-1/2 não tem nenhum parceiro de spin-0. De fato, não há, atualmente, um farrapo sequer de indício experimental em favor de spartículas em nosso mundo de baixa energia. No entanto, a firme convicção dos físicos que trabalham nessa área é que, nas enormes energias encontradas no instante da Criação, todas as partículas eram acompanhadas de suas superparceiras. É somente nessa energia incrível que vemos um mundo perfeitamente supersimétrico.

Após alguns anos de interesse febril e números recordes de conferências internacionais, porém, tornou-se claro que essa teoria não podia ser corretamente quantizada, o que descarrilhou temporariamente o sonho de se criar uma teoria puramente a partir do mármore. Como todas as outras tentativas de construir uma teoria exclusivamente a partir do mármore, a supergravidade falhou por uma razão muito simples: sempre que tentávamos calcular números a partir dessas teorias, chegávamos a infinidades. A teoria, embora tivesse menos infinidades que a teoria Kaluza-Klein original, continuava sendo não renormalizável.

Havia outros problemas. A mais elevada simetria que a supergravidade podia incluir era chamada O(8), que era pequena demais para acomodar a simetria do Modelo Padrão. A supergravidade, revelou-se, era apenas mais um passo na longa jornada rumo a uma teoria unificada do universo. Ela sanava um problema (transformar a madeira em mármore), somente para tombar vítima de várias outras doenças. No entanto, exatamente quando o interesse pela supergravidade começou a se desvanecer, surgiu uma nova teoria que era talvez a mais estranha, porém a mais poderosa teoria física jamais proposta: a teoria de dez dimensões das

supercordas.

7

Supercordas

A teoria das cordas é a física do século XXI que por acaso caiu no século XX.
Edward Witten

Edward Witten, do Institute for Advanced Study, em Princeton, Nova Jersey, domina o mundo da física teórica. Witten é atualmente o "líder do bando", o mais brilhante físico de alta energia, que lança tendências na comunidade física tal como Picasso lançava tendências no mundo da arte. Centenas de físicos acompanham seu trabalho religiosamente para captar um vislumbre de suas ideias inovadoras. Um colega de Princeton, Samuel Treiman, diz: "Ele está uma cabeça e ombros à frente dos outros. Iniciou grupos inteiros de pessoas em novos caminhos. Produz provas elegantes, surpreendentes ante as quais as pessoas sentem palpitações, que as deixam estupefatas." Treiman conclui então: "Não deveríamos lançar comparações com Einstein por aí com demasiada liberdade, mas quando se trata de Witten..."[1]

Witten vem de uma família de físicos. Seu pai é Leonard Witten, professor de física na Universidade de Cincinnati e destacada autoridade na teoria da relatividade geral de Einstein. (Seu pai, de fato, por vezes se gaba de que sua maior contribuição para a física foi produzir seu filho.) Sua mulher é Chiara Nappi, também uma física teórica no instituto.

Witten não é como os outros físicos. A maior parte deles começa seu romance com a física numa idade precoce (como nos primeiros anos do curso secundário ou até na escola primária). Witten desafiou mais convenções, começando com uma especialização em história e com intenso interesse por linguística. Depois de se graduar em 1971, trabalhou na campanha presidencial de George McGovern. Este chegou até a lhe escrever uma carta de recomendação para a escola de pós-graduação. Witten publicou artigos em *The Nation* e *New Republic*. (*Scientific American*, numa entrevista com Witten, comentou: "Sim, o homem que pode ser apontado como a pessoa mais inteligente do mundo é um democrata liberal.")[2]

Uma vez que decidiu que a física era sua profissão de escolha, porém, Witten a aprendeu com furor. Tornou-se um estudante de pós-graduação em Princeton, lecionou em Harvard, e em seguida ascendeu meteoricamente à condição de professor pleno em Princeton, aos 28 anos. Recebeu também a prestigiosa Bolsa MacArthur (por vezes apelidada de o prêmio dos "gênios" pela imprensa). Subprodutos de seu trabalho afetaram também profundamente o

mundo da matemática. Em 1990, ele foi contemplado com a medalha Fields, que é tão importante quanto o prêmio Nobel no mundo da matemática.

Na maior parte do tempo, contudo, Witten fica sentado olhando pela janela, manipulando e rearranjando vastas coleções de equações em sua cabeça. Sua mulher observa: "Ele nunca faz cálculos, a não ser em sua cabeça. Eu encho páginas de equações antes de compreender o que estou fazendo. Mas Edward só se senta para calcular um sinal de subtração, ou um fator de dois."[3] Witten diz: "A maioria das pessoas que não teve formação em física provavelmente pensa no que um físico faz com uma questão de cálculos incrivelmente complicados, mas essa não é realmente a essência da coisa. A essência dela é que a física envolve conceitos, desejo de compreender os conceitos, os princípios pelos quais o mundo funciona."[4]

O próximo projeto de Witten é o mais ambicioso e arrojado de sua carreira. Uma nova teoria chamada teoria das supercordas criou sensação no mundo da física, pretendendo ser a teoria capaz de unir a teoria da gravidade de Einstein com a teoria quântica. Witten, contudo, não está satisfeito com a maneira como a teoria das supercordas está formulada atualmente. Ele atribuiu a si mesmo o problema de encontrar a *origem* da teoria das supercordas, que pode se provar um desenvolvimento decisivo rumo à explicação do próprio instante da Criação. O aspecto-chave dessa teoria, o fator que lhe confere tanto seu poder quanto sua unicidade, é uma geometria inusitada: cordas podem vibrar de maneira consistente somente em 10 e 26 dimensões.

O QUE É UMA PARTÍCULA?

A essência da teoria das cordas é poder explicar a natureza tanto da matéria quanto do espaço-tempo – isto é, a natureza da madeira e do mármore. A teoria das cordas responde a uma série de questões enigmáticas sobre as partículas, como a de por que existem tantas delas na natureza. Quanto mais profundamente investigamos a natureza das partículas subatômicas, mais partículas encontramos. O atual "zoológico" de partículas subatômicas monta a várias centenas e suas propriedades enchem volumes inteiros. Mesmo com o Modelo Padrão, ficamos com um número atordoante de "partículas elementares". A teoria das cordas responde essa questão porque a corda, cerca de 100 bilhões de bilhões de vezes menor que um próton, está vibrando; cada modo de vibração representa uma ressonância ou partícula distinta. A corda é tão incrivelmente pequena que, a certa distância, a ressonância de uma corda e uma partícula são indistinguíveis. Somente quando de algum modo ampliamos a partícula podemos ver que ela não é em absoluto um ponto, mas um modo de uma corda vibrátil.

Nesse quadro, cada partícula subatômica corresponde a uma ressonância distinta que vibra unicamente numa frequência distinta. A ideia de ressonância é conhecida na vida cotidiana. Pense no exemplo de cantar no banheiro. Embora nossa voz natural possa ser débil, minúscula ou trêmula, sabemos que de repente despontamos como astros de ópera na privacidade de nossos chuveiros. Isso acontece porque nossas ondas sonoras ricocheteiam rapidamente para cá e para lá entre as paredes do boxe. Vibrações que podem se encaixar facilmente nos limites da parede do boxe são ampliadas muitas vezes, produzindo aquele som ressoante. As vibrações específicas são chamadas ressonâncias, ao passo que outras vibrações (aquelas ondas de tamanho incorreto) são anuladas.

Ou pense numa corda de violino, que pode vibrar em diferentes frequências, criando notas musicais como dó, ré e mi. Os únicos modos que podem sobreviver na corda são aqueles que desaparecem na extremidade final da corda do violino (porque ela é cavilhada nas pontas) e ondulam um número integral de vezes entre as extremidades. Em princípio, a corda pode vibrar em qualquer de um número infinito de diferentes frequências. Sabemos que as notas propriamente ditas não são fundamentais. A nota dó não é mais fundamental que a nota ré. No entanto, o fundamental é a própria corda. Não há nenhuma necessidade de estudar cada nota isoladamente das outras. Compreendendo como a corda de um violino vibra, compreendemos imediatamente as propriedades de um número infinito de notas musicais.

Da mesma maneira, as partículas do universo não são fundamentais por si mesmas. Um elétron não é mais fundamental que um neutrino. Eles só parecem ser fundamentais porque nossos microscópios não são potentes o bastante para revelar sua estrutura. Segundo a teoria das cordas, se pudéssemos ampliar de algum modo uma partícula pontual, veríamos na realidade uma pequena corda vibrátil. De fato, segundo essa teoria, a matéria nada mais é que harmonias criadas por essa corda vibrátil. Assim como há um número infinito de harmonias que podem ser compostas para o violino, há um número infinito de formas de matéria que podem ser construídas a partir de cordas vibráteis. Isso explica a riqueza das partículas na natureza. Da mesma maneira, as leis da física podem ser comparadas às leis de harmonia permitidas na corda. O próprio universo, composto de incontáveis cordas vibráteis, seria então comparável a uma sinfonia.

A teoria das cordas pode explicar não só a natureza das partículas, mas também a do espaço-tempo. À medida que se move no espaço-tempo, uma corda executa um complicado conjunto de movimentos. A corda pode ou se romper em cordas menores, ou colidir com outras cordas para formar cordas mais longas. O ponto crucial é que todas essas correções quânticas ou diagramas de laço são finitas e calculáveis. Esta é a primeira teoria quântica da

gravidade na história da física a ter correções quânticas finitas. (*Todas* as teorias anteriores conhecidas, lembremo-nos – inclusive a teoria original de Einstein, a teoria Kaluza-Klein e a supergravidade –, fracassaram em atender a esse critério-chave.)

Para executar esses complicados movimentos, uma corda deve obedecer a um amplo conjunto de condições coerentes. As condições coerentes são tão rigorosas que impõem condições extraordinariamente restritivas ao espaço-tempo. Em outras palavras, a corda não pode viajar coerentemente em qualquer espaço-tempo arbitrário, como uma partícula pontual.

Quando as restrições que a corda impõe ao espaço-tempo foram calculadas pela primeira vez, os físicos ficaram chocados ao descobrir as equações de Einstein emergindo para a corda. Isso era impressionante; sem pressupor nenhuma das equações de Einstein, os físicos constataram que elas emergiam da teoria das cordas, como que por um passe de mágica. As equações de Einstein deixaram de ser consideradas fundamentais; elas podiam ser derivadas da teoria das cordas.

Se correta, a teoria das cordas resolve o antigo mistério em torno da natureza da madeira e do mármore. Einstein conjeturou que apenas o mármore iria um dia explicar todas as propriedades da matéria. Para ele, a matéria não passava de uma dobra ou vibração do espaço-tempo – nem mais, nem menos. Os físicos quânticos, no entanto, pensavam o oposto. Pensavam que o mármore poderia ser transformado em madeira – isto é, o tensor métrico de Einstein poderia ser convertido num gráviton, o pacote discreto de energia que transporta a força gravitacional. São dois pontos de vista diametralmente opostos, e durante muito tempo se pensou que uma conciliação entre eles era impossível. A corda, no entanto, é precisamente o "elo que faltava" entre a madeira e o mármore.

A teoria das cordas pode derivar as partículas da matéria como ressonâncias vibráteis na corda. E pode também derivar as equações de Einstein exigindo que a corda se mova coerentemente no espaço-tempo. Em nossos dias, temos uma teoria abrangente tanto da matéria-energia quando do espaço-tempo.

Essas imposições de coerência são surpreendentemente rígidas. Por exemplo, elas proíbem a corda de se mover em três ou quatro dimensões. Veremos que essas condições de coerência forçam a corda a se mover num número específico de dimensões. De fato, os únicos "números mágicos" permitidos pela teoria das cordas são dez e 26 dimensões. Felizmente, uma teoria das cordas definida nessas dimensões tem "espaço" bastante para unificar todas as forças fundamentais.

A teoria das cordas, portanto, é suficientemente rica para explicar as leis fundamentais da natureza. A partir de uma simples teoria de uma corda vibrátil, é possível extrair a teoria de

Einstein, Kaluza-Klein, a supergravidade, o Modelo Padrão e até a teoria GUT. Parece nada menos que um milagre que, começando com alguns argumentos puramente geométricos tomados de uma corda, sejamos capazes de rederivar todo o progresso da física nos últimos dois milênios. Todas as teorias discutidas até este momento neste livro estão automaticamente incluídas na teoria das cordas.

O atual interesse pela teoria das cordas provém do trabalho de John Schwarz, do California Institute of Technology, e seu colaborador Michael Green, do Queen Mary's College, em Londres. Anteriormente, pensava-se que a corda poderia possuir defeitos que impediriam uma teoria completamente coerente. Depois, em 1984, esses dois físicos provaram que todas as condições de coerência podem ser encontradas. Isso, por sua vez, desencadeou o atual frenesi entre jovens físicos para resolver a teoria e conquistar reconhecimento. No fim da década de 1980, uma verdadeira "corrida do ouro" teve início entre os físicos. (A competição entre centenas dos mais brilhantes físicos teóricos do mundo para resolver a teoria tornou-se bastante acirrada. De fato, a capa da *Discover* estampou recentemente o teórico das cordas D. V. Nanopoulous, do Texas, que se gabava abertamente de ter todas as chances na rota para ganhar o prêmio Nobel de Física. Raramente uma teoria tão abstrata suscitou tais paixões.)

POR QUE CORDAS?

Certa vez almocei com um prêmio Nobel de Física num restaurante chinês de Nova York. Enquanto nos passávamos o porco agridoce, o assunto da teoria das supercordas veio à baila. Inopinadamente, ele se lançou numa discussão longa e pessoal do por que a teoria das supercordas não era o caminho correto para jovens físicos teóricos. Era uma busca inútil, ele afirmou. Nunca houvera nada semelhante na história da física, e por isso aquilo lhe parecia bastante esquisito. Era demasiado estranho, demasiado ortogonal a todas as tendências anteriores na ciência. Após uma longa discussão, a questão se resumiu a um ponto: por que cordas? Por que não sólidos ou bolhas vibráteis?

O mundo físico, ele me lembrou, usa os mesmos conceitos vezes sem conta. A natureza é como uma peça de Bach ou de Beethoven, que muitas vezes partem de um tema central e fazem em torno dele incontáveis variações que são dispersas por toda a sinfonia. Por este critério, parece que as cordas não são conceitos fundamentais na natureza.

O conceito de órbitas, por exemplo, ocorre repetidamente na natureza em diferentes situações; desde o trabalho de Copérnico, as órbitas forneceram um tema essencial que é

constantemente repetido através de toda a natureza em diferentes variações, da mais vasta galáxia até o átomo, até a menor partícula subatômica. Da mesma maneira, os campos de Faraday provaram ser um dos temas favoritos da natureza. Campos podem descrever o magnetismo das galáxias e a gravitação, ou podem descrever a teoria eletromagnética de Maxwell, a teoria métrica de Riemann e de Einstein, e os campos de Yang-Mills encontrados no Modelo Padrão. A teoria de campo, de fato, emergiu como a linguagem universal da física subatômica, e talvez do universo também. Ela é a arma isolada mais poderosa no arsenal da física teórica. Todas as formas conhecidas de matéria e energia foram expressas em termos da teoria de campo. Padrões, portanto, como temas e variações numa sinfonia, são constantemente repetidos.

Mas cordas? Cordas não parecem ser um padrão favorito na natureza no desenho do céu. Não vemos cordas no espaço cósmico. Na verdade, meu colega me explicou, não vemos cordas em lugar algum.

Um momento de reflexão, porém, vai revelar que a natureza reservou a corda para um papel especial, como um bloco básico de outras formas. Por exemplo, o traço essencial da vida na Terra é a molécula de DNA em forma de corda, que contém a complexa informação e a codificação da própria vida. Ao construir o recheio da vida, bem como da matéria subatômica, as cordas parecem ser a resposta perfeita. Em ambos os casos, queremos empacotar uma grande quantidade de informação numa estrutura relativamente simples, reproduzível. O traço distintivo de uma corda é ser um dos mais compactos modos de armazenar vastas quantidades de dados de um modo que a informação pode ser replicada.

Para coisas vivas, a natureza usa as duplas hélices do DNA, que se desenrolam e formam cópias duplicadas uma da outra. Além disso, nossos corpos contêm bilhões e mais bilhões de cordas de proteínas, formadas de blocos de aminoácidos. Nossos corpos, num certo sentido, podem ser vistos com uma vasta coleção de cordas – moléculas de proteína revestindo nossos ossos.

O QUARTETO DE CORDAS

Atualmente, a mais bem-sucedida versão da teoria das cordas é aquela criada pelos físicos de Princeton, David Gross, Emil Martinec, Jeffrey Harvey e Ryan Rohm, que são por vezes chamados o quarteto de cordas de Princeton. O mais velho deles é David Gross. Na maioria dos seminários em Princeton, Witten pode fazer perguntas em sua voz suave, mas a voz de Gross é inconfundível: alta, retumbante e insistente. Qualquer pessoa que dê um seminário em

Princeton passa o tempo com medo de que as perguntas argutas e rápidas de Gross o atinjam. O que mais impressiona é que suas perguntas geralmente atingem o alvo. Gross e seus colaboradores propuseram a chamada *corda heterótica*. Hoje, é precisamente a corda heterótica, de todos os vários tipos de teorias Kaluza-Klein propostas no passado, que tem o maior potencial de unificar todas as leis da natureza em uma só teoria.

Gross acredita que teoria das cordas resolve o problema de transformar madeira em corda: "Construir a própria matéria a partir da geometria – isso é em certo sentido o que a teoria das cordas faz. Ela pode ser pensada dessa maneira, especialmente numa teoria como a da corda heterótica, que é inerentemente uma teoria da gravidade em que as partículas de matéria bem como as outras forças da natureza emergem da mesma maneira como a gravidade emerge da geometria."[5]

A característica mais extraordinária da teoria das cordas, como já enfatizamos, é que a teoria da gravidade de Einstein está automaticamente contida nela. De fato, o gráviton (o *quantum* de gravidade) emerge como a menor vibração da corda fechada. Enquanto as GUTs evitavam zelosamente qualquer menção à teoria da gravidade de Einstein, a teoria das supercordas exige que a teoria de Einstein esteja incluída. Por exemplo, se simplesmente deixarmos de lado a teoria da gravidade de Einstein como uma vibração da corda, a teoria se torna incoerente e inútil. Esta foi, de fato, a razão por que Witten primeiro se sentiu atraído pela teoria das cordas. Em 1982, ele leu um artigo de revisão da autoria de John Schwarz e ficou pasmo ao se dar conta de que a gravidade emerge da teoria das supercordas por simples exigências de coerência. Foi "a maior vibração intelectual da minha vida", ele se lembra. Witten diz: "A teoria das cordas é extremamente atraente porque a gravidade nos é imposta. Todas as teorias das cordas conhecidas incluem a gravidade, e assim, enquanto a gravidade é impossível na teoria do campo quântico tal como a conhecemos, ela é obrigatória na teoria das cordas."[6]

Gross sente-se satisfeito por acreditar que Einstein, se fosse vivo, iria amar a teoria das supercordas. Iria amar o fato de que a beleza e a simplicidade da teoria das supercordas advêm em última análise de um princípio geométrico, cuja natureza precisa ainda é desconhecida. Gross afirma: "Einstein teria ficado satisfeito com isso, pelo menos com a meta, se não com a realização... Ele teria gostado do fato de que há um princípio geométrico subjacente – que, infelizmente, não compreendemos realmente."[7]

Witten chega a dizer que "todas as ideias realmente grandiosas na física" são "subprodutos" da teoria das supercordas. Com isso, ele quer dizer que todos os grandes avanços em física teórica estão incluídos na teoria das supercordas. Ele afirma mesmo que o

fato de a teoria da relatividade geral de Einstein ter sido descoberta antes da teoria das supercordas foi "um mero acidente no desenvolvimento do planeta Terra". Sustenta que, em algum lugar no espaço cósmico, "outras civilizações no universo" poderiam ter descoberto a teoria das supercordas primeiro e derivado a relatividade geral como um subproduto.[8]

COMPACTAÇÃO E BELEZA

A teoria das cordas é uma candidata tão promissora para a física porque fornece uma origem simples para as simetrias encontradas na física das partículas, bem como na relatividade geral.

Vimos no Capítulo 6 que a supergravidade era ao mesmo tempo não renormalizável e pequena demais para acomodar a simetria do Modelo Padrão. Por isso, não era coerente e não começava a descrever realisticamente as partículas conhecidas. A teoria das cordas, contudo, faz uma coisa e outra. Como logo veremos, ela elimina as infinidades encontradas na gravidade quântica, fornecendo uma teoria finita da gravidade quântica. Só isso garantiria que a teoria das cordas seria tomada como uma séria candidata para uma teoria do universo. No entanto, há uma vantagem adicional. Quando compactamos algumas das dimensões das cordas, verificamos que há "espaço suficiente" para acomodar as simetrias do Modelo Padrão e até as GUTs.

A corda heterótica consiste em uma corda fechada que tem dois tipos de vibrações, no sentido horário e no sentido anti-horário, que são tratadas diferentemente. As vibrações de sentido horário vivem num espaço de dez dimensões. As de sentido anti-horário vivem num espaço de 26 dimensões, 16 das quais foram compactadas. (Lembramos que na teoria original de cinco dimensões de Kaluza, a quinta dimensão era compactada ao ser enrolada num círculo.) A corda heterótica deve seu nome ao fato de que as vibrações no sentido horário e no sentido anti-horário vivem em duas dimensões diferentes, mas estão combinadas para produzir uma única teoria das supercordas. É por isso que ela é chamada a partir da palavra grega *heterosis*, que significa "vigor híbrido".

O espaço compactado de 16 dimensões é de longe o mais interessante. Na teoria Kaluza-Klein, lembramos que o espaço N-dimensional compactado pode ter uma simetria associada a ele, muito semelhante a uma bola de praia. Então todas as vibrações (ou campos) definidos no espaço N-dimensional herdam automaticamente essas simetrias. Se a simetria for SU(N), todas as vibrações no espaço devem obedecer à simetria SU(N) (do mesmo modo que a argila herda as simetrias do molde). Deste modo, a teoria Kaluza-Klein podia acomodar as simetrias do

Modelo Padrão. No entanto, desse modo podia também ser determinado que a supergravidade era "pequena demais" para conter todas as partículas das simetrias encontradas no Modelo Padrão. Isso foi suficiente para matar a teoria da supergravidade como uma teoria realista da matéria e do espaço-tempo.

Mas quando o quarteto de cordas de Princeton analisou as simetrias do espaço de 16 dimensões, descobriu que há uma simetria monstruosamente grande, chamada E(8) x E(8), que é muito maior que qualquer simetria GUT que jamais tenha sido tentada.[9] Esse foi um ganho inesperado. Ele significava que todas as vibrações da corda poderiam herdar a simetria do espaço de 16 dimensões, que era mais do que suficiente para acomodar a simetria do Modelo Padrão.

Esta, portanto, é a expressão matemática do tema central do livro, que as leis da física se simplificam em dimensões múltiplas. Neste caso, o espaço de 26 dimensões das vibrações em sentido anti-horário da corda heterótica tem espaço suficiente para explicar todas as simetrias encontradas tanto na teoria de Einstein quanto na teoria quântica. Assim, pela primeira vez, a pura geometria deu uma explicação simples do por que o mundo subatômico deve exibir necessariamente certas simetrias que emergem do enroscamento do espaço de maior número de dimensões: *As simetrias do reino subatômico não passam de remanescentes da simetria do espaço hiperdimensional*.

Isto significa que a beleza e a simetria encontradas na natureza podem em última análise ser retraçadas ao espaço hiperdimensional. Por exemplo, flocos de neve criam bonitos padrões hexagonais, nenhum dos quais é precisamente o mesmo. Esses flocos de neve e cristais, por sua vez, herdaram sua estrutura do modo como suas moléculas foram geometricamente arranjadas. Esse arranjo é determinado sobretudo pelas camadas de elétrons da molécula, que por sua vez nos remetem às simetrias rotacionais da teoria quântica, dadas por O(3). Todas as simetrias do universo de baixa energia que observamos nos elementos químicos são devidas às simetrias catalogadas pelo Modelo Padrão, que por sua vez podem ser derivadas pela compactação da corda heterótica.

Em conclusão, as simetrias que vemos à nossa volta, de arco-íris e flores desabrochando a cristais, podem em última análise ser vistas como manifestações de fragmentos da teoria de dez dimensões original.[10] Riemann e Einstein haviam alimentado a esperança de encontrar uma compreensão geométrica do por que forças podem determinar o movimento e a natureza da matéria. Faltava-lhes porém o ingrediente-chave que mostrasse a relação entre madeira e mármore. Esse elo faltante é muito provavelmente a teoria das supercordas. Com a teoria das cordas de dez dimensões, vemos que a geometria da corda pode ser em última análise

responsável tanto pelas forças quanto pela estrutura da matéria.

UM FRAGMENTO DE FÍSICA DO SÉCULO XXI

Dado o enorme poder de sua simetria, não é de surpreender que a teoria das supercordas seja radicalmente diferente de qualquer outro tipo de física. Ela foi, de fato, descoberta quase por acidente. Muitos físicos comentaram que se esse acidente fortuito nunca tivesse ocorrido, a teoria não teria sido descoberta até o século XXI. Isto porque ela representa um desvio demasiado agudo de todas as ideias tentadas neste século. Ela não é uma extensão contínua de tendências e teorias populares neste século; ocupa um lugar à parte.

Em contraposição, a teoria da relatividade geral teve uma evolução "normal" e lógica. Primeiro, Einstein postulou o princípio de equivalência. Depois reformulou esse princípio físico na matemática de uma teoria de campo de gravitação baseada nos campos de Faraday e no tensor métrico de Riemann. Mais tarde vieram as "soluções clássicas", como o buraco negro e o Big Bang. Finalmente, o último estágio é a atual tentativa de formular uma teoria quântica da gravidade. Assim a relatividade geral passou por uma progressão lógica, de um princípio físico a uma teoria quântica.

Geometria → teoria de campo → teoria clássica → teoria quântica

Em contraposição, a teoria das supercordas esteve se desenvolvendo *de trás para frente* desde sua descoberta acidental em 1968. É por isso que parece tão estranha e tão pouco familiar à maioria dos físicos. Ainda estamos buscando por seu princípio físico subjacente, a contrapartida do princípio de equivalência de Einstein.

A teoria nasceu inteiramente por acaso em 1968 quando dois jovens físicos teóricos, Gabriel Veneziano e Mahiko Suzuki, estavam folheando independentemente livros de matemática à procura de funções matemáticas que pudessem descrever as interações de partículas de interação forte. Quando estudavam no CERN, o Laboratório Europeu para a Física das Partículas, em Genebra, na Suíça, eles toparam independentemente com a função beta de Euler, uma função matemática formulada no século XIX pelo matemático Leonhard Euler. Ficaram pasmos ao descobrir que a função beta de Euler se ajustava a quase todas as propriedades requeridas para se descrever as interações fortes de partículas elementares.

Durante um almoço no Lawrence Berkeley Laboratory na Califórnia, com uma vista espetacular do sol inflamando o porto de San Francisco lá embaixo, Suzuki uma vez me explicou a emoção de descobrir, por mero acidente, um resultado potencialmente importante.

Não se espera que a física aconteça desse modo.

Depois de descobrir a função beta de Euler num livro, ele mostrou seu resultado, cheio de entusiasmo, a um físico mais experiente do CERN. O físico mais experiente, após ouvir Suzuki, não se mostrou impressionado. De fato, disse a Suzuki que outro jovem físico (Veneziano) havia descoberto essa mesmíssima função, alguns dias antes. Desencorajou Suzuki a publicar seu resultado. Hoje, a função beta é conhecida pelo nome de modelo de Veneziano, e inspirou vários milhares de artigos de pesquisa, gerou uma importante escola em física e agora pretende unificar todas as leis físicas. (Em retrospecto, Suzuki, é claro, deveria ter publicado seus resultados. Há uma lição a extrair de tudo isto, suponho: nunca leve muito a sério o conselho de seus superiores.)

Em 1970, o mistério em torno do modelo Veneziano-Suzuki foi em parte explicado quando Yoichiro Nambu na Universidade de Chicago e Tetsuo Goto da Universidade Nihon descobriram que uma corda vibrátil jazia por trás de suas maravilhosas propriedades.

Como a teoria das cordas foi descoberta de trás para frente e por acidente, os físicos ainda não conhecem o princípio físico subjacente à teoria das cordas. O último passo na evolução da teoria (e o primeiro passo na evolução da relatividade geral) ainda está faltando.

Witten acrescenta que

> os seres humanos no planeta Terra nunca tiveram a estrutura conceitual que os levaria a inventar a teoria das cordas de propósito... Ninguém a inventou de propósito, ela foi inventada por um afortunado acidente. Por direito, os físicos do século XX não deveriam ter tido o privilégio de estudar essa teoria. Por direito, a teoria das cordas não deveria ter sido inventada até que nosso conhecimento de algumas das ideias que são pré-requisitos para a teoria das cordas tivesse se desenvolvido a tal ponto que nos fosse possível possuir o conceito correto de tudo que está envolvido nela.[11]

LAÇOS

A fórmula descoberta por Veneziano e Suzuki, que eles esperavam iria descrever as propriedades de partículas subatômicas em interação, ainda estava incompleta. Ela violava uma das propriedades da física: o caráter *unitário*, ou a conservação da probabilidade. Por si mesma, a fórmula Veneziano-Suzuki forneceria respostas incorretas para interações de partículas. Assim, o passo seguinte na evolução da teoria foi acrescentar pequenos termos de correção quântica que iriam restaurar essa propriedade. Em 1969, antes mesmo da interpretação das cordas por Nambu e Goto, três físicos (Keiji Kikkawa, Bunji Sakita e Miguel A. Virasoro, todos então da Universidade de Wisconsin) propuseram a solução correta: acrescentar termos cada vez menores à fórmula Veneziano-Suzuki para restaurar o caráter *unitário*.

Embora esses físicos tenham tido de conjeturar como construir a série a partir do zero, hoje ela é muito facilmente compreendida na estrutura da representação das cordas de Nambu. Por exemplo, quando um mangangá voa no espaço, sua trajetória pode ser descrita como uma linha coleante. Quando um pedaço de cordão arrastado pelo ar se move no espaço, sua trajetória pode ser comparada com a de uma folha bidimensional imaginária. Quando uma corda fechada flutua no espaço, sua trajetória lembra um tubo.

Cordas interagem rompendo-se em cordas menores e juntando-se a outras cordas. Quando se movem, essas cordas em interação traçam as configurações mostradas na Figura 7.1. Observe que dois tubos vêm da esquerda, com um tubo fissionando no meio, trocam o tubo do meio, e então se desviam para a direita. É assim que tubos interagem entre si. O diagrama, é claro, é uma simplificação de uma expressão matemática muito complicada. Quando calculamos a expressão numérica correspondente a esses diagramas, recuperamos a função beta de Euler.

Na representação das cordas, o truque essencial proposto por Kikkawa-Sakita-Virasoro (KSV) correspondeu a acrescentar *todos os diagramas possíveis* onde cordas podem colidir ou se desunir. Há, é claro, um número infinito desses diagramas. O processo de acrescentar um número infinito de diagramas de "laço", com cada diagrama chegando mais perto da solução final, é a teoria da perturbação e é uma das mais importantes armas no arsenal de qualquer físico quântico. (Esses diagramas possuem uma bela simetria, nunca vista antes na física, que é conhecida como *simetria conforme* em duas dimensões. Essa simetria conforme permite-nos tratar esses tubos e folhas como se fossem feitos de borracha: podemos puxar, esticar, curvar e encolher esses diagramas. Depois, por causa da simetria conforme, podemos provar que todas essas expressões matemáticas permanecem as mesmas.)

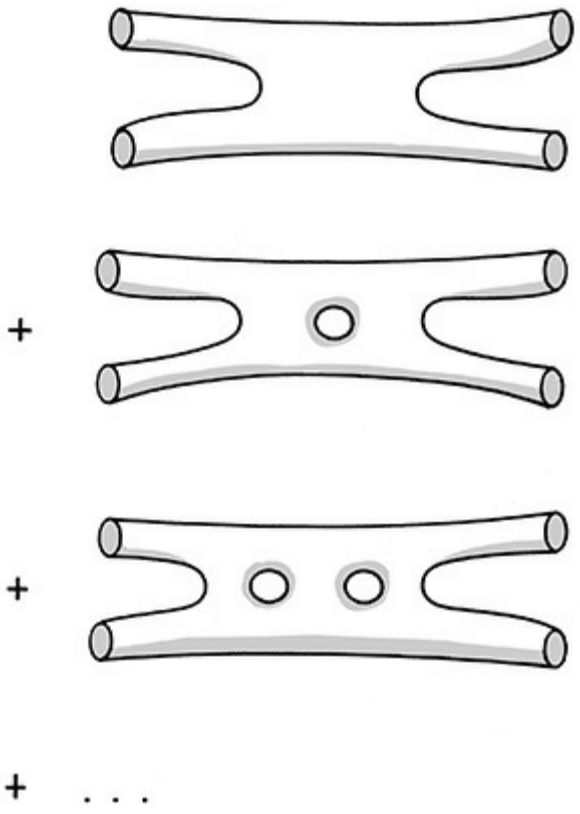


Figura 7.1. Na teoria das cordas, a força gravitacional é representada pela troca de cordas fechadas, que cavam tubos no espaço-tempo. Mesmo que acrescentemos uma série infinita de diagramas com um grande número de buracos, infinidades nunca aparecem na teoria, dando-nos uma teoria finita de gravidade quântica.

KSV afirmaram que a soma total desses diagramas em laço forneceria a fórmula matemática precisa para explicar como as partículas subatômicas interagem. No entanto, o programa KSV consistia em uma série de conjeturas não provadas. Alguém tinha de construir esses laços explicitamente, ou essas conjunturas eram inúteis.

Intrigado pelo programa que estava sendo iniciado por KSV, decidi tentar minha sorte na solução do problema. Isso foi um tantinho difícil, porque eu estava me esquivando de balas de metralhadoras na época.

CAMPO DE TREINAMENTO DE RECRUTAS

Lembro-me claramente quando o artigo KSV chegou em 1969. KSV estava propondo um programa para o futuro, mais do que dando detalhes precisos. Decidi então calcular todos os laços possíveis explicitamente e completar o programa KSV.

É difícil esquecer aqueles tempos. Havia uma guerra grassando além-mar, e os *campi* das universidades desde o estado do Kent até a Universidade de Paris estavam em estado de tumulto. Eu me graduara em Harvard no ano anterior, quando o presidente Lyndon Johnson revogou adiamentos para estudantes de pós-graduação, lançando pânico por todas as escolas

de pós-graduação do país. O caos dominava os *campi*. De repente, meus amigos estavam abandonando a faculdade, ensinando no curso secundário, fazendo as malas e partindo para o Canadá ou tentando arruinar sua saúde para conseguir uma reprovação no exame de habilitação física do exército.

Carreiras promissoras estavam sendo despedaçadas. Um dos meus melhores amigos na física no MIT confessou que preferia ir para a cadeia do que lutar no Vietnã. Pediu-nos para mandar números do *Physical Review* para sua cela na cadeia de modo que pudesse ficar a par com os desenvolvimentos do modelo de Veneziano. Outros amigos, que deixaram a faculdade para lecionar em escolas secundárias em vez de ir lutar na guerra, puseram fim a promissoras carreiras científicas. (Muitos deles ainda ensinam nessas escolas secundárias.)

Três dias depois da formatura, deixei Cambridge e me encontrei no Exército dos Estados Unidos estacionado no Forte Benning, na Geórgia (o maior centro de treinamento de infantaria no mundo), e mais tarde no Forte Lewis, em Washington. Dezenas de milhares de recrutas inexperientes, sem nenhum treinamento militar prévio, estavam sendo forjados numa força de combate e em seguida embarcados para o Vietnã, para substituir os quinhentos soldados que eram mortos a cada semana.

Um dia, enquanto lançava granadas acesas sob o sol causticante da Geórgia e vendo os estilhaços mortais se espalharem em todas as direções, meu pensamento começou a vagar. Quantos cientistas ao longo da história tinham tido de enfrentar as rudes devastações da guerra? Quantos cientistas promissores tinham sido extintos no vigor de sua juventude?

Lembrei-me de que Karl Schwarzschild havia morrido no exército do cáiser na frente russa durante a Primeira Guerra Mundial apenas alguns meses depois de ter encontrado a solução básica para as equações de Einstein usadas em todas as equações de buraco negro. (O raio de Schwarzschild de um buraco negro foi denominado em sua homenagem. Einstein falou perante a Academia Prussiana em 1916 para comemorar o trabalho de Schwarzschild após sua morte prematura nas linhas de frente.) E quantas pessoas promissoras foram ceifadas antes mesmo que pudessem iniciar suas carreiras?

O treinamento da infantaria, eu descobri, é rigoroso; destina-se a enrijecer o espírito e embotar o intelecto. A independência de pensamento está inteiramente fora de questão. Afinal de contas, os militares não precisam necessariamente de uma cabeça que vá questionar as ordens do sargento no meio de um tiroteio. Compreendendo isto, decidi levar comigo alguns artigos de física. Precisava de alguma coisa para manter minha mente ativa enquanto descascava batatas ou disparava metralhadoras, de modo que levei comigo uma cópia do artigo KSV.

Durante o treino da noite da infantaria, eu tinha de passar por uma corrida de obstáculos, o que significava esquivar-me de balas de metralhadora incandescentes, enfiar-me sob arame farpado e arrastar-me por lama marrom e espessa. Como os tiros automáticos tinham projéteis luminosos, eu podia ver belas riscas púrpura formadas pelas balas de milhares de metralhadoras navegando a alguns centímetros acima da minha cabeça. No entanto, eu continuava voltando meus pensamentos para o artigo KSV e para o modo como seu programa poderia ser levado a cabo.

Felizmente, a característica essencial do cálculo era estritamente topológica. Estava claro para mim que aqueles laços estavam introduzindo uma linguagem inteiramente nova na física, a linguagem da topologia. Nunca antes na história da física as fitas de Möbius ou as garrafas de Klein haviam sido usadas de uma maneira fundamental.

Como eu raramente dispunha de algum papel ou lápis enquanto treinava com metralhadoras, forcei-me a visualizar em minha cabeça como cordas podiam ser torcidas em laços e viradas pelo avesso. O treinamento com as metralhadoras era na verdade uma bênção disfarçada, porque me forçava a manipular grandes blocos de equações mentalmente. Quando terminei o programa avançado de treinamento com metralhadoras, estava convencido de que seria capaz de completar o programa de calcular todos os laços.

Finalmente, consegui escapar do exército por um tempo para ir para a Universidade da Califórnia, em Berkeley, onde trabalhei furiosamente na solução dos detalhes que estavam rodando na minha cabeça. Dediquei várias centenas de horas de intenso pensamento à questão. Ela, de fato, tornou-se minha tese de Ph.D.

Em 1970, o cálculo final tomou várias centenas de páginas de cadernos densamente cheias. Sob a cuidadosa supervisão do meu orientador, Stanley Mandelstam, meu colega Loh-ping Yu e eu conseguimos calcular uma expressão explícita para todos os diagramas de laço possíveis conhecidos na época. No entanto, não fiquei satisfeito com esse trabalho. O programa KSV consistia em uma miscelânea de métodos empíricos e de intuição, não de um conjunto rigoroso de princípios básicos a partir dos quais esses laços pudessem ser derivados. A teoria das cordas, como vimos, estava se desenvolvendo para trás, desde sua descoberta acidental por Veneziano e Suzuki. O passo seguinte na evolução regressiva da corda era seguir as pegadas de Faraday, Riemann, Maxwell e Einstein e construir uma *teoria de campo das cordas*.

TEORIA DE CAMPO DAS CORDAS

Desde o trabalho pioneiro de Faraday, toda teoria física foi escrita em termos de campos. A

teoria da luz de Maxwell foi baseada na teoria de campo. Assim também a de Einstein. De fato, toda a física das partículas foi baseada na teoria de campo. A única teoria *não* baseada na teoria de campo foi a teoria das cordas. O programa KSV era mais um conjunto de regras convenientes que uma teoria de campo.

Minha meta seguinte era retificar essa situação. O problema com uma teoria de campo das cordas, no entanto, era que muitas das figuras pioneiras na física se levantavam contra ela. Seus argumentos eram simples. Aqueles gigantes da física, como Hideki Yukawa e Werner Heisenberg, haviam se empenhado durante anos para criar uma teoria de campo que não fosse baseada em partículas pontuais. Partículas elementares, eles pensavam, poderiam ser bolhas pulsáteis de matéria e não pontos. No entanto, por mais que se esforçassem, teorias de campo baseadas em bolhas violavam a causalidade.

Se sacudíssemos a bolha num ponto, a interação se espalharia numa velocidade maior que a da luz pela bolha toda, violando a relatividade especial e criando toda sorte de paradoxos temporais. Assim, "teorias de campo não locais", baseadas em bolhas, eram conhecidas como um problema monstruosamente difícil. Muitos físicos, de fato, insistiam que somente teorias de campo locais, baseadas em partículas pontuais, podiam ser coerentes. Teorias de campo não locais violariam fatalmente a relatividade.

O segundo argumento era ainda mais convincente. O modelo de Veneziano tinha muitas propriedades mágicas (entre as quais algo chamado *dualidade*) que nunca tinham sido vistas antes numa teoria de campo. Anos antes, Richard Feynman havia fornecido "regras" a que toda teoria de campo deveria obedecer. No entanto, essas regras de Feynman violavam diretamente a dualidade. Assim, muitos teóricos das cordas estavam convencidos de que uma teoria de campo das cordas era impossível porque a teoria de campo violava necessariamente as propriedades do modelo de Veneziano. A teoria das cordas, eles diziam, era única em toda a física porque não podia ser remodelada como uma teoria de campo.

Colaborei com Keiji Kikkawa nesse problema difícil mas importante. Passo a passo, construímos nossa teoria de campo de maneira muito semelhante àquela como nossos predecessores haviam construído teorias de campo para outras forças. À maneira de Faraday, introduzimos um campo em cada ponto do espaço. No entanto, para uma teoria de campo de cordas, tivemos de generalizar o conceito de Faraday e postular um campo que fosse definido para todas as configurações possíveis de uma corda vibrátil no espaço-tempo.

O segundo passo foi postular as equações de campo a que a corda obedecia. A equação de campo para uma única corda movendo-se sozinha no espaço-tempo foi fácil. Como esperado, nossas equações de campo reproduziam uma série infinita de ressonâncias de cordas, cada

uma correspondendo a uma partícula subatômica. Em seguida, verificamos que as objeções de Yukawa e Heisenberg eram resolvidas pela teoria de campo das cordas. Se balançássemos a corda, as vibrações se propagavam por ela abaixo numa velocidade menor que a da luz.

Logo, entanto, nos confrontamos com uma barreira. Quando tentamos introduzir cordas em interação, não pudemos reproduzir a amplitude do modelo de Veneziano corretamente. A dualidade e a contagem dos gráficos dados por Feynman para qualquer teoria de campo estavam em conflito direto. Exatamente como os críticos esperavam, os gráficos de Feynman estavam incorretos. Isso foi desalentador. Parecia que a teoria de campo, que havia formado a base da física no século anterior, era fundamentalmente incompatível com a teoria das cordas.

Desencorajado, lembro-me de ruminar sobre o problema tarde da noite. Durante horas, comecei a verificar sistematicamente todas as alternativas possíveis para esse problema. Mas a conclusão de que a dualidade tinha de ser rompida parecia inevitável. Então lembrei o que Sherlock Holmes disse a Watson, em "O signo dos quatro" de Arthur Conan Doyle: "Quantas vezes eu lhe disse que depois que você eliminou o impossível, aquilo que resta, *por mais improvável que seja*, deve ser a verdade." Encorajado por essa ideia, eliminei todas as alternativas impossíveis. A única alternativa improvável que restou era violar as propriedades da fórmula Veneziano-Suzuki. Por volta das três da manhã, cheguei à solução final. Compreendi que os físicos haviam negligenciado o fato óbvio de que se pode partir a fórmula Veneziano-Suzuki em dois pedaços. Cada pedaço corresponde então a um dos diagramas de Feynman, e cada parte viola a dualidade, mas a *soma* obedece a todas as propriedades corretas de uma teoria de campo.

Rapidamente peguei um papel e passei ao cálculo. Passei as cinco horas seguintes conferindo e reconferindo o cálculo em todas as direções possíveis. A conclusão era inevitável: a teoria de campo viola a dualidade, como todos esperavam, mas isso é aceitável porque a soma final reproduz a fórmula Veneziano-Suzuki.

Eu tinha agora resolvido a maior parte do problema. No entanto, mais um diagrama de Feynman, representando a colisão de quatro cordas, continuava faltando. Naquele ano, eu estava lecionando eletricidade e magnetismo introdutórios no curso de graduação da Universidade de Nova York, e estávamos estudando as linhas de força de Faraday. Eu pedia aos alunos que traçassem linhas de força emanando de diferentes configurações de cargas, repetindo os mesmos passos inaugurados por Faraday no século XIX. De repente, revelou-se para mim que as linhas contorcidas e com laços que eu estava pedindo a meus alunos para traçar tinham exatamente a mesma estrutura topológica que a colisão de cordas. Assim, rearranjando cargas num laboratório de calouros, eu tinha encontrado a configuração correta

para descrever a colisão de quatro cordas.

A coisa era assim tão simples?

Corri para casa para verificar minha intuição, e eu estava certo. Empregando técnicas pictóricas que até um calouro pode usar, eu podia mostrar que a interação de quatro cordas deve estar escondida dentro da fórmula de Veneziano. No inverno de 1974, usando métodos que datavam de Faraday, Kikkawa e eu completamos a teoria de campo das cordas, a primeira tentativa bem-sucedida de combinar a teoria das cordas com o formalismo da teoria de campo.

Nossa teoria de campo, embora incorporasse corretamente toda a informação contida na teoria das cordas, ainda necessitava de aperfeiçoamento. Como estávamos construindo a teoria de campo de trás para a frente, muitas das simetrias permaneciam obscuras. Por exemplo, as simetrias da relatividade especial estavam presentes mas não de uma maneira óbvia. Um trabalho muito maior era necessário para organizar as equações de campo que havíamos encontrado. Mas exatamente quando estávamos começando a explorar as propriedades de nossa teoria de campo, o modelo, inesperadamente, sofreu um grave revés.

Naquele ano, o físico Claude Lovelace, da Rutgers University, descobriu que a corda bosônica (que descreve spins integrais) só é coerente em 26 dimensões. Outros físicos verificaram esse resultado e mostraram que a supercorda (que descreve o spin tanto integral quando semi-integral) é coerente apenas em dez dimensões. Logo se compreendeu que, em outras dimensões que dez ou 26, a teoria perde completamente todas as suas belas propriedades matemáticas. Mas ninguém acreditava que uma teoria definida em dez ou 26 dimensões pudesse ter alguma coisa a ver com a realidade. A pesquisa na teoria das cordas foi subitamente suspensa. Como Kaluza-Klein antes dela, a teoria das cordas penetrou numa profunda hibernação. Por dez longos anos, o modelo foi banido para a obscuridade. (Embora a maioria dos físicos das cordas, eu inclusive, tenhamos abandonado o modelo como um navio que naufraga, alguns obstinados, como os físicos John Schwarz e o falecido Joel Scherk, tentaram manter o modelo vivo fazendo aperfeiçoamentos regulares. Por exemplo, a teoria das cordas fora originalmente pensada como sendo apenas uma teoria para as interações fortes, com cada modo de vibração correspondendo a uma ressonância do modelo quark. Schwarz e Scherk mostraram corretamente que o modelo das cordas era realmente uma teoria unificada de todas as forças, não somente das interações fortes.)

A pesquisa em gravidade quântica prosseguiu em outra direção. De 1974 a 1984, quando a teoria das cordas estava em eclipse, um grande número de teorias alternativas da gravidade quântica foi estudado com sucesso. Durante esse período, a teoria original Kaluza-Klein e depois a teoria da supergravidade gozaram de grande popularidade, mas a cada vez os

fracassos desses modelos também se tornavam aparentes. Por exemplo, pôde-se demonstrar que tanto a teoria Kaluza-Klein quanto a da supergravidade eram não renormalizáveis.

Em seguida algo de estranho aconteceu durante aquela década. Por um lado, os físicos sentiam-se frustrados com a crescente lista de modelos que foram experimentados e em seguida descartados durante esse período. Tudo fracassava. Lentamente firmou-se a convicção de que a teoria Kaluza-Klein e a teoria da supergravidade estavam provavelmente na trilha certa, mas não eram sofisticadas o suficiente para resolver o problema da não renormalização. Mas a única teoria complexa o suficiente para conter tanto a teoria Kaluza-Klein e a supergravidade era a teoria das cordas. Por outro lado, os físicos foram paulatinamente se acostumando a trabalhar no hiperespaço. Por causa do renascimento de Kaluza-Klein, a ideia de hiperespaço não mais parecia tão forçada ou amedrontadora. Com o tempo, até uma teoria definida em 26 dimensões deixou de parecer tão esquisita. A resistência original a 26 dimensões começou a se diluir com o tempo.

Finalmente, em 1984, Green e Schwarz provaram que a teoria das supercordas é a *única* teoria coerente da gravidade quântica, e a debandada começou. Em 1985, Edward Witten fez um significativo avanço no campo da teoria das cordas, que muitas pessoas consideraram uma das mais belas realizações da teoria. Ele mostrou que nossa velha teoria de campo podia ser derivada mediante poderosos teoremas geométricos (vindos de algo chamado de *teoria da co-homologia*) com uma forma plenamente relativística.

Com a nova teoria de campo de Witten, a verdadeira elegância matemática da teoria de campo das cordas, que estava escondida em nosso formalismo, veio à luz. Logo, quase cem artigos científicos foram escritos para explorar as fascinantes propriedades matemáticas da teoria de campo de Witten.[12]

NINGUÉM É INTELIGENTE O BASTANTE

Supondo que a teoria de campo das cordas é correta, em princípio deveríamos ser capazes de calcular a massa do próton a partir de princípios básicos e fazer contato com dados conhecidos, como as massas das várias partículas. Se as respostas numéricas estiverem erradas, então vamos ter de jogar a teoria pela janela. No entanto, se a teoria for correta, ela figurará entre os mais significativos avanços na física em 2.000 anos.

Após a intensa e eufórica fanfarra do fim da década de 1980 (quando parecia que a teoria seria completamente resolvida dentro de alguns anos e prêmios Nobel distribuídos às dezenas), um certo grau de frio realismo se estabeleceu. Embora a teoria esteja bem definida

matematicamente, ninguém foi capaz de resolvê-la. Ninguém.

O problema é que ninguém é inteligente o suficiente para resolver a teoria de campo das cordas ou qualquer outra abordagem que não perturbe a teoria das cordas. Este é um problema bem definido, mas a ironia é que resolver a teoria de campo requer técnicas que estão no momento além da capacidade de qualquer físico. Isso é frustrante. Temos diante de nós uma teoria das cordas perfeitamente bem definida. Dentro dela está a possibilidade de solucionar toda a controvérsia em torno do espaço multidimensional. O sonho de calcular tudo a partir de princípios básicos está nos encarando. O problema é como resolvê-la. Lembramo-nos da famosa observação de Júlio César na peça de Shakespeare: "A falha, caro Brutus, não está em nossas estrelas, mas em nós mesmos." Para um teórico das cordas, a falha não está na teoria, mas em nossa matemática primitiva.

A razão para esse pessimismo é que nossa principal ferramenta de cálculo, a teoria da perturbação, fracassa. A teoria da perturbação começa com uma fórmula do tipo Veneziano e depois calcula correções quânticas a ela (que têm a forma de laços). A esperança dos teóricos das cordas era poder elaborar uma fórmula mais avançada do tipo Veneziano definida em quatro dimensões que iria descrever unicamente o espectro conhecido de partículas. Em retrospecto, foram muito bem-sucedidos. O problema é que milhões e mais milhões de fórmulas de tipo Veneziano foram agora descobertos. Embaraçosamente, os teóricos das cordas estão literalmente afogados nessas soluções perturbativas.

O problema fundamental que bloqueou o progresso na teoria das supercordas nos últimos anos é que ninguém sabe como selecionar a solução correta entre os milhões delas que foram descobertos. Algumas dessas soluções chegam notavelmente perto de descrever o mundo real. Com algumas suposições modestas, é fácil extrair o Modelo Padrão como uma vibração da corda. Vários grupos anunciaram, de fato, que são capazes de encontrar soluções que concordam com os dados conhecidos sobre as partículas subatômicas.

O problema, como vemos, é que há também milhões e milhões de outras soluções descrevendo universos que não apresentam nenhuma semelhança com o nosso. Em algumas dessas soluções, o universo não tem quarks ou tem quarks demais. Na maioria delas, a vida tal como a conhecemos não pode existir. Nosso universo pode estar perdido em algum lugar em meio a milhões de universos possíveis que foram encontrados na teoria das cordas. Para encontrar a solução correta, devemos usar técnicas não perturbativas, que são notoriamente difíceis. Como 99% do que sabemos sobre física de alta energia são baseados na teoria da perturbação, isso significa que estamos totalmente incapazes de encontrar a verdadeira solução para a teoria.

Há, no entanto, algum espaço para otimismo. Soluções não perturbativas que foram encontradas para teorias muito mais simples mostram que muitas das soluções são de fato instáveis. Após um tempo, essas soluções incorretas, instáveis, dão um salto quântico para a solução correta, estável. Se isso se aplicar à teoria das cordas, então talvez os milhões de soluções que foram encontrados sejam na verdade instáveis e vão se desintegrar ao longo do tempo na solução correta.

Para compreender a frustração que nós físicos sentimos, pense, por um momento, em como os físicos do século XIX poderiam ter reagido se um computador portátil lhes tivesse sido dado. Teriam conseguido facilmente aprender a girar os mostradores e apertar os botões. Teriam podido aprender a dominar videogames ou assistir a programas educacionais pelo monitor. Estando um século atrás da tecnologia, ficariam maravilhados diante da fantástica capacidade de calcular do computador. Dentro da memória dele poderia facilmente ser armazenado todo o conhecimento científico daquele século. Num curto período de tempo, eles teriam podido aprender a realizar proezas matemáticas que iriam deixar pasmos quaisquer de seus colegas. No entanto, caso tivessem decidido abrir o monitor para ver o que havia dentro, teriam ficado horrorizados. Os transistores e microprocessadores seriam totalmente estranhos a qualquer coisa que teriam podido compreender. Não haveria realmente nada na sua experiência que se comparasse com o computador eletrônico. Ele estaria além de seu alcance. Eles teriam podido somente contemplar estupidamente o complicado circuito, sem ter a menor ideia de como ele funcionava ou o que ele significava.

A fonte da frustração deles seria o fato de o computador existir e estar lá plantado na frente dos seus narizes, sem que tivessem nenhum marco de referência a partir do qual explicá-lo. De maneira análoga, a teoria das cordas parece ser física do século XXI que foi descoberta por acaso no nosso século. Também a teoria das cordas parece incluir todo o conhecimento físico. Com um pequeno esforço, somos todos capazes de girar alguns mostradores e apertar alguns botões na teoria, e de lá brota a teoria da supergravidade, a teoria Kaluza-Klein e o Modelo Padrão. Mas somos totalmente incapazes de explicar como funciona. A teoria de campo das cordas existe, mas ela zomba de nós porque não somos inteligentes o bastante para resolvê-la.

O problema é que, se a física do século XXI caiu por acidente no século XX, a matemática do século XXI ainda não foi inventada. Parece que talvez tenhamos de esperar pela matemática do século XXI antes que possamos fazer qualquer progresso, ou a atual geração de físicos deve inventar a matemática do século XXI por si mesma.

Um dos mais profundos segredos da teoria das cordas, que ainda não é bem compreendido, é por que ela é definida em somente dez e 26 dimensões. Se a teoria fosse tridimensional, ela não seria capaz de unificar as leis conhecidas da física de nenhuma maneira sensata. Assim, é a geometria das dimensões mais elevadas que é a característica central da teoria.

Se calcularmos como as cordas se rompem e se reformam num espaço *N*-dimensional, veremos brotar constantemente termos sem significado que destroem as maravilhosas propriedades da teoria. Felizmente, esses termos indesejados aparecem multiplicados por (*N*-10). Portanto, para fazer essas anomalias desaparecerem, não temos escolha senão fixar *N* como dez. A teoria das cordas, de fato, é a única teoria quântica conhecida que exige especificamente que a dimensão de espaço-tempo seja fixada num único número.

Lamentavelmente, os teóricos das cordas estão, no momento, sem saber como explicar por que dez dimensões são diferenciadas. A resposta está profundamente encravada na matemática, numa área chamada *funções modulares*. Sempre que manipulamos os diagramas de laço KSV criados por cordas em interação, encontramos essas estranhas funções modulares em que o número dez aparece nos mais estranhos lugares. Essas funções modulares são tão misteriosas quanto o homem que as investigou, o místico vindo do Oriente. Talvez se compreendêssemos melhor o trabalho desse gênio indiano, entenderíamos por que vivemos em nosso presente universo.

O MISTÉRIO DAS FUNÇÕES MODULARES

Srinivasa Ramanujan foi o mais estranho homem de toda a matemática, provavelmente de toda a história da ciência. Ele foi comparado à explosão de uma supernova, iluminando os cantos mais escuros, mais profundos da matemática, antes de ser tragicamente acometido por tuberculose aos 33 anos, como já ocorrera com Riemann. Trabalhando em total isolamento das principais correntes de seu campo, ele foi capaz de rederivar o equivalente a cem anos de matemática do Ocidente por si só. A tragédia de sua vida é que grande parte de seu trabalho foi desperdiçado na redescoberta de matemática já conhecida. Espalhadas em meio a obscuras equações em seus cadernos estão essas funções modulares, que figuram entre as mais estranhas jamais descobertas na matemática. Elas reaparecem nos ramos mais distantes e não relacionados da matemática. Uma função que aparece repetidas vezes na teoria das funções modulares é chamada hoje *função de Ramanujan* em sua homenagem. Essa estranha função contém um termo elevado à vigésima segunda potência.

No trabalho de Ramanujan, o número 24 aparece repetidamente. Este é um exemplo do que

os matemáticos chamam de números mágicos, que reaparecem continuamente, quando menos se espera por eles, por razões que ninguém compreende. Miraculosamente, a função de Ramanujan aparece também na origem da teoria das cordas. O número 24 que aparece na função de Ramanujan é também a origem do miraculoso cancelamento que ocorre na teoria das cordas. Na teoria das cordas, cada um dos 24 modos na função de Ramanujan corresponde a uma vibração física da corda. Sempre que a corda executa seus complexos movimentos no espaço-tempo dividindo-se e se recombinando, um grande número de identidades matemáticas extremamente sofisticadas precisa ser satisfeito. Essas são precisamente as identidades matemáticas descobertas por Ramanujan. (Como os físicos acrescentam duas dimensões quando contam o número total de vibrações que aparecem numa teoria relativística, isso significa que o espaço-tempo deve ter 24 + 2 = 26 dimensões de espaço-tempo.)[13]

Quando a função de Ramanujan é generalizada, o número 24 é substituído pelo número 8. Assim o número crítico para a supercorda é 8 + 2, ou 10. Esta é a origem das dez dimensões. A corda vibra em dez dimensões porque ela requer essas funções de Ramanujan generalizadas para permanecer coerente. *Em outras palavras, os físicos não têm a mais ligeira ideia de por que dez e 26 dimensões são escolhidas como as dimensões da corda.* É como se houvesse algum tipo de numerologia profunda sendo manifestada nessas funções, que ninguém compreende. É precisamente a aparição desses números mágicos na função modular elíptica que determina que a dimensão do espaço-tempo seja dez.

Na análise final, a origem da teoria de dez dimensões é tão misteriosa quanto o próprio Ramanujan. Quando perguntados por algumas pessoas de uma audiência por que a natureza pode existir em dez dimensões, os físicos são forçados a responder: “Não sabemos.” Sabemos, em termos vagos, por que algumas dimensões de espaço-tempo devem ser selecionadas (caso contrário a corda não pode vibrar de uma maneira quântica coerente), mas não sabemos por que esses números particulares são escolhidos. Talvez a resposta esteja esperando para ser descoberta nos cadernos perdidos de Ramanujan.

A REINVENÇÃO DE CEM ANOS DE MATEMÁTICA

Ramanujan nasceu em 1887 em Erode, na Índia, perto de Madras. Embora sua família fosse brâmane, a mais elevada casta hindu, eles eram pobres, vivendo do parco salário do emprego do pai de Ramanujan como escrevente no escritório de um comerciante de tecidos.

Com dez anos de idade, estava claro que Ramanujan não era uma criança como as outras. Como Riemann antes dele, ficou conhecido em sua aldeia por suas espantosas habilidades de

cálculo. Quando criança, já havia rederivado a identidade de Euler entre funções trigonométricas e exponenciais.

Em toda vida de um jovem cientista, há um momento crítico, um evento singular que ajuda a mudar-lhe o curso. Para Einstein, foi a fascinação de observar a agulha de uma bússola. Para Riemann, foi a leitura do livro de Legendre sobre teoria dos números. Para Ramanujan, foi topar com um esquecido e obscuro livro de matemática de autoria de George Carr. Esse livro foi imortalizado desde então pelo fato de ter marcado a única exposição conhecida de Ramanujan à moderna matemática ocidental. Segundo sua irmã: "Foi esse livro que despertou seu gênio. Ele decidiu estabelecer as fórmulas nele dadas. Como não tinha a ajuda de outros livros, cada solução foi uma peça de pesquisa no que lhe dizia respeito... Ramanujan costumava dizer que a deusa de Namakkal o inspirava com as fórmulas em sonhos."[14]

Por causa de seu brilhantismo, ele conseguiu uma bolsa de estudos para a escola secundária. Mas como se aborrecia com o tédio dos trabalhos escolares e estava intensamente preocupado com as equações que estavam constantemente dançando na sua cabeça, não conseguiu entrar na última série e sua bolsa de estudos foi cancelada. Frustrado, fugiu de casa. Acabou voltando, só para cair doente e fracassar novamente nos seus exames.

Com a ajuda de amigos, Ramanujan conseguiu se tornar funcionário subalterno no Porto de Madras. Era um trabalho servil, que pagava míseras 20 libras por ano, mas ele liberava Ramanujan, como Einstein antes dele na Agência de Patentes, para buscar a realização de seus sonhos em suas horas de folga. Ramanujan então enviou alguns dos resultados de seus "sonhos" para três reputados matemáticos britânicos, na esperança de contato com outras mentes matemáticas. Dois dos matemáticos, recebendo aquela carta escrita por um funcionário indiano sem nenhuma educação formal, rapidamente a jogaram fora. O terceiro era o brilhante matemático de Cambridge, Godfrey H. Hardy. Em razão de sua estatura na Inglaterra, Hardy estava acostumado a receber correspondências malucas e fez uma pobre ideia daquela carta. Em meio a uma densa escrita percebeu muitos teoremas de matemática já conhecidos. Pensando que aquilo era o óbvio trabalho de um plagiário, também o jogou fora. Mas alguma coisa não estava certa. Alguma coisa estava incomodando Hardy; ele não podia evitar ficar pensando sobre aquela estranha carta.

Num jantar naquela noite, 16 de janeiro de 1913, Hardy e seu colega John Littlewood discutiram a estranha carta e decidiram dar uma segunda examinada em seu conteúdo. Ela começava de maneira bastante inocente com "Peço licença para me apresentar a Vossa Senhoria como um funcionário do Departamento do Escritório do Porto de Madras com um salário de 20 libras por ano".[15] Mas a carta do pobre funcionário de Madras continha

teoremas que eram totalmente desconhecidos pelos matemáticos do Ocidente. No todo, ela continha 120 teoremas. Hardy ficou pasmo. Lembrou-se de que a tentativa de provar alguns daqueles teoremas o "derrotara por completo". Recordou: "Eu nunca tinha visto nada nem de longe parecido com aquilo antes. Um simples olhar para eles é suficiente para mostrar que só podem ter sido escritos por um matemático da mais alta classe."[16]

Littlewood e Hardy chegaram à mesma estarrecedora conclusão: tratava-se obviamente do trabalho de um gênio empenhado em rederivar cem anos de matemática europeia. "Ele havia estado arrastando uma impossível desvantagem, um pobre e solitário hindu batucando seu cérebro contra a sabedoria acumulada da Europa", lembrou Hardy.[17]

Hardy mandou buscar Ramanujan e, após muita dificuldade, conseguiu que ele ficasse em Cambridge em 1914. Pela primeira vez, Ramanujan pôde se comunicar regularmente com seus pares, a comunidade dos matemáticos europeus. Iniciou-se então um frenesi de atividade: três curtos e intensos anos de colaboração com Hardy no Trinity College em Cambridge.

Mais tarde Hardy tentou avaliar a habilidade matemática de Ramanujan. Conferiu a David Hilbert, universalmente reconhecido como um dos maiores matemáticos do século XIX, o grau 80. A Ramanujan, atribuiu 100. (A si mesmo Hardy conferiu 25.)

Lamentavelmente, nem Hardy nem Ramanujan pareciam interessados na psicologia ou no processo de pensamento pelo qual Ramanujan descobria aqueles incríveis teoremas, especialmente quando esse fluxo de material transbordava de seus "sonhos" com tanta frequência. Hardy observou: "Parecia ridículo inquietá-lo sobre o modo como ele tinha descoberto esse ou aquele teorema conhecido, quando ele estava me mostrando meia dúzia de novos teoremas quase todos os dias."[18]

Hardy se lembrava vivamente:

> Lembro-me de ter ido visitá-lo uma vez quando estava de cama em Putney. Eu pegara o táxi nº. 1.729, e comentei que o número parecia bastante tolo, e que eu esperava não fosse um mau agouro. "Não", ele respondeu, "é um número muito interessante: é o menor número exprimível como soma de dois cubos de duas diferentes maneiras."[19]

(É o resultado da soma de 1 x 1 x 1 e 12 x 12 x 12, e também a soma de 9 x 9 x 9 e 10 x 10 x 10.) Ele era capaz de, instantaneamente, recitar teoremas complexos em aritmética cuja prova exigiria um computador.

Sempre com a saúde abalada, a austeridade da economia britânica dilacerada pela guerra impedia Ramanujan de manter sua dieta estritamente vegetariana, e ele estava sempre com os intestinos desarranjados. Após colaborar com Hardy durante três anos, Ramanujan adoeceu e nunca mais se recuperou. A Primeira Guerra Mundial suspendeu as viagens entre a Inglaterra e

a Índia e em 1919 ele finalmente conseguiu voltar para casa, onde morreu um ano depois.

FUNÇÕES MODULARES

O legado de Ramanujan é sua obra, que consiste em 4.000 fórmulas em 400 páginas que enchem três cadernos todos densamente apinhados de teoremas com incrível poder mas sem qualquer comentário, ou, o que é mais frustrante, nenhuma prova. Em 1976, no entanto, uma nova descoberta foi feita. Umas 130 páginas, contendo o resultado final do último ano de sua vida, foram descobertas por acaso numa caixa no Trinity College. A isso se dá agora o nome de "Caderno Perdido". Comentando o Caderno Perdido, o matemático Richard Askey diz: "O trabalho naquele único ano, enquanto ele estava morrendo, foi o equivalente ao trabalho de uma vida inteira para um matemático consumado. O que ele realizou é inacreditável. Se fosse um romance, ninguém acreditaria nele." Para enfatizar a dificuldade de sua árdua tarefa de decifrar os "cadernos", os matemáticos Jonathan Borwein e Peter Borwein comentaram: "Ao que saibamos, nenhuma redação matemática dessa magnitude ou dificuldade foi jamais tentada."[20]

Observar a progressão das equações de Ramanujan dá a impressão de que tivéssemos sido formados para ouvir a música ocidental de Beethoven e fôssemos subitamente expostos a um outro tipo de música, uma música oriental misteriosa que misturasse harmonias e ritmos nunca antes ouvidos na música ocidental. Jonathan Borwein diz: "Ele parece ter funcionado de uma maneira diferente de todos os outros de que temos conhecimento. Tinha tal intuição para as coisas que elas simplesmente brotavam de seu cérebro. Talvez ele não as visse de nenhuma maneira traduzível. É como observar alguém numa festa para a qual você não foi convidado."

Como os físicos sabem, "acidentes" não ocorrem sem uma razão. Quando estão executando um cálculo longo e difícil, e subitamente têm milhares de termos indesejados miraculosamente somando zero, os físicos sabem que isso não acontece sem uma profunda razão subjacente. Atualmente, os físicos sabem que esses "acidentes" são uma indicação de que uma simetria está em funcionamento. Para as cordas, a simetria é chamada de simetria conforme, a simetria de esticar e deformar a folha do mundo da corda.

Esse é precisamente o sentido do trabalho de Ramanujan. Para proteger a simetria conforme original da destruição pela teoria quântica, um número de identidades matemáticas deve ser miraculosamente satisfeito. Essas identidades são precisamente as identidades da função modular de Ramanujan.

Em síntese, dissemos que nossa premissa fundamental é que as leis da natureza se

simplificam quando expressas em dimensões múltiplas. No entanto, à luz da teoria quântica, tivemos de certo modo de aperfeiçoar esse esquema básico. A afirmação correta deveria ser lida agora: as leis da natureza se simplificam quando coerentemente expressas em dimensões múltiplas. A adição da palavra coerente é crucial. Isso nos força a usar as funções modulares de Ramanujan, que fixam a dimensão do espaço-tempo em dez. Isso, por sua vez, pode nos dar a pista decisiva para explicar a origem do universo.

Einstein muitas vezes perguntava a si mesmo se Deus tivera alguma escolha ao criar o universo. Segundo os teóricos das supercordas, uma vez que demandemos uma unificação da teoria quântica e da relatividade geral, Deus não teve escolha alguma. A coerência por si só, eles afirmam, deveria ter forçado Deus a criar o universo como o fez.

Embora a sofisticação matemática introduzida pela teoria das supercordas tenha atingido culminâncias estonteantes e tenha chocado os matemáticos, os críticos da teoria continuavam a malhá-la em seus pontos mais fracos. Toda teoria, afirmavam, deve ser testável. Como nenhuma teoria definida na energia de Planck de 10^{19} bilhões de elétrons-volt pode ser testável, a teoria das supercordas não é de fato verdadeiramente uma teoria!

O principal problema, como assinalamos, é mais teórico que experimental. Se fôssemos engenhosos o suficiente, poderíamos resolver a teoria exatamente e encontrar sua verdadeira solução não perturbativa. No entanto, isso não nos exime de encontrar alguns meios pelos quais verificar a teoria experimentalmente. Para pôr a teoria à prova, devemos esperar sinais na décima dimensão.

8

Sinais da décima dimensão

> Como seria estranho se a teoria final fosse descoberta durante nossas vidas! A descoberta das leis finais da natureza haverá de marcar uma descontinuidade na história intelectual humana, a mais forte que ocorreu desde o início da ciência moderna no século XVII. Seremos capazes agora de imaginar como seria isso?
>
> Steven Weinberg

A BELEZA É UM PRINCÍPIO FÍSICO?

Embora a teoria das supercordas nos forneça uma convincente formulação da teoria do universo, o problema básico é que um teste experimental da teoria parece estar além de nossa tecnologia atual. De fato, a teoria prevê que a unificação de todas as forças ocorre na energia de Planck, ou 10^{19} bilhões de elétrons-volt, o que é cerca de 1 quatrilhão de vezes mais que as energias atualmente disponíveis em nossos aceleradores.

O físico David Gross, comentando o custo da geração dessa energia fantástica, diz: "Não há dinheiro suficiente nos tesouros de todos os países do mundo reunidos. É verdadeiramente astronômico!"[1]

Isso é desapontador, porque significa que a verificação experimental, o mecanismo que propulsiona o progresso em física, já não é possível com nossa atual geração de máquinas ou com qualquer geração de máquinas num futuro concebível. Isso, por sua vez, significa que a teoria de dez dimensões não é uma teoria no sentido comum, porque é inverificável dado o presente estado tecnológico do nosso planeta. Ficamos assim com a pergunta: será a beleza, por si mesma, um princípio físico capaz de substituir a falta de verificação experimental?

Para alguns, a resposta é um retumbante não. Eles chamam essas teorias zombeteiramente de "física teatral", ou "matemática recreativa". O mais cáustico dos críticos é o laureado com o prêmio Nobel Sheldon Glashow, da Universidade de Harvard. Ele assumiu o papel de crítico irritante nesse debate, liderando os ataques às afirmações de outros físicos segundo as quais dimensões adicionais podem existir. Glashow escarnece desses físicos, comparando a atual epidemia com o vírus da AIDS: isto é, é incurável. Ele também compara o atual efeito triunfalista com o programa da Guerra nas Estrelas do ex-presidente Reagan:

> Temos aqui um enigma: cite dois grandes projetos que sejam incrivelmente complexos, requeiram décadas de desenvolvimento, e nunca poderão funcionar no mundo real? Guerra nas Estrelas e teoria das cordas... Nenhuma das duas ambições pode ser realizada com a tecnologia existente, e nenhuma das duas pode alcançar seu objetivo declarado. Ambas as aventuras são dispendiosas em termos de recursos humanos escassos. E, em ambos os casos, os russos estão tentando desesperadamente nos alcançar.[2]

Para jogar mais lenha na fogueira, Glashow chegou a escrever um poema, que termina assim:

> A Teoria de Tudo, se você tiver bastante peito,
> Pode ser algo mais que uma órbita multiforme de cordas,
> Enquanto alguns de seus líderes ficaram velhos e esclerosados
> Já não sendo confiáveis em matéria de coisas heteróticas,
> Por favor, ouçam nosso conselho para não ficarem aflitos –
> O livro ainda não terminou, a última palavra não é Witten.[3]

Glashow havia jurado (sem sucesso) manter essas teorias fora de Harvard, onde ensina. Mas tem de reconhecer que muitas vezes é minoritário nessa questão. Ele lamenta: "Vejo-me como um dinossauro num mundo de mamíferos novos-ricos."[4] (As ideias de Glashow certamente não são partilhadas por outros contemplados com o Nobel, como Murray Gell-Mann e Steven Weinberg. O físico Weinberg, de fato, diz: "A teoria das cordas fornece nossa única fonte atual de candidatos para uma teoria final – como poderia alguém esperar que muitos dos mais talentosos jovens teóricos *não* fossem trabalhar nela?")[5]

Para compreender as implicações desse debate referente à unificação de todas as forças, e também os problemas com sua verificação experimental, é instrutivo considerar a seguinte analogia, a "parábola da pedra preciosa".

No início, digamos, havia uma pedra preciosa de grande beleza, que era perfeitamente simétrica em três dimensões. No entanto, essa pedra era instável. Um dia, ela estourou e lançou fragmentos em todas as direções; eles acabaram por cair sobre o mundo bidimensional de Chatalândia. Curiosos, os residentes de Chatalândia empreenderam uma investigação para reunir as peças. Chamaram a explosão original de Big Bang, mas não compreendiam por que aqueles fragmentos estavam espalhados por seu mundo. Por fim, dois tipos de fragmentos foram identificados. Alguns eram polidos e lisos de um lado, e os chatalandeses os compararam com "mármore". Outros eram cheios de saliências e feios, sem nenhuma sombra de regularidade, e o chatalandeses os compararam com "madeira".

Ao longo dos anos, os chatalandeses se dividiram em dois campos. O primeiro campo começou a recolher os fragmentos polidos. Lentamente, alguns dos pedaços polidos começaram a se encaixar. Maravilhados ao ver como aqueles fragmentos polidos estavam se encaixando, esses chatalandeses se convenceram de que de algum modo uma nova e poderosa geometria devia estar operando. Esses chatalandeses chamaram suas peças parcialmente reunidas de "relatividade".

O segundo grupo devotou seus esforços a juntar os fragmentos cheios de saliências e irregulares. Também eles tiveram limitado sucesso em encontrar padrões entre esses

fragmentos. No entanto, os pedaços irregulares produziam somente um bloco maior e ainda mais irregular, que eles chamaram de Modelo Padrão. Ninguém era inspirado pela feia massa chamada Modelo Padrão.

Após anos de penoso trabalho tentando encaixar essas várias peças, porém, revelou-se que parecia não haver maneira de juntar as peças polidas com as irregulares.

Foi então que, um dia, um engenhoso chatalandês atinou com uma ideia maravilhosa. Declarou que os dois conjuntos de peças poderiam ser reunidos numa peça se fossem movidos "para cima" – isto é, algo que ele chamava de terceira dimensão. Muitos chatalandeses ficaram aturdidos com essa nova abordagem, porque ninguém era capaz de entender o que "para cima" significava. No entanto, ele foi capaz de mostrar por computador que os fragmentos de "mármore" podiam ser vistos como fragmentos externos de algum objeto, e por isso eram polidos, ao passo que os fragmentos de "madeira" eram os fragmentos internos. Quando ambos os conjuntos de fragmentos foram reunidos numa terceira dimensão, os chatalandeses perderam o fôlego diante do que era revelado no computador: uma deslumbrante pedra preciosa com perfeita simetria em três dimensões. De um único golpe, a distinção artificial entre os dois conjuntos de fragmentos foi resolvida por pura geometria.

Essa solução, no entanto, deixava várias questões irrespondidas. Alguns chatalandeses ainda queriam prova experimental, não meros cálculos teóricos, de que as peças podiam realmente ser reunidas naquela pedra preciosa. Essa teoria dava um número concreto para a energia que seria necessária para construir máquinas poderosas que seriam capazes de erguer aqueles fragmentos "para cima" de Chatalândia e reunir as peças no espaço tridimensional. Mas a energia requerida era cerca de um quatrilhão de vezes a maior fonte de energia disponível para os chatalandeses.

Para alguns, o cálculo teórico era suficiente. Mesmo na falta de verificação experimental, eles sentiam que a "beleza" era mais do que suficiente para resolver a questão da unificação. A história sempre mostrara, eles assinalavam, que as soluções dos mais difíceis problemas da natureza haviam sido aquelas de maior beleza. Apontavam também, com razão, que a teoria tridimensional não tinha rival.

Outros chatalandeses, no entanto, fizeram um alarido. Uma teoria que não pode ser testada não é uma teoria, diziam, furiosos. Testar essa teoria iria sorver os melhores cérebros e desperdiçar valiosos recursos numa tentativa absurda, afirmavam.

O debate em Chatalândia, assim como no mundo real, persistirá por certo tempo, o que é uma boa coisa. Como disse uma vez um filósofo francês do século XVIII, Joseph Joubert: "É melhor debater uma questão sem resolvê-la que resolvê-la sem debatê-la."

O filósofo inglês do século XVIII, David Hume, que ficou famoso por propor a tese de que toda teoria deve ser firmada no fundamento do experimento, viu-se em palpos de aranha para explicar como se pode verificar experimentalmente uma teoria da Criação. A essência do experimento, ele afirmava, era a reprodutibilidade. A menos que um experimento possa ser duplicado vezes sem conta, em diferentes lugares e em diferentes momentos com os mesmos resultados, a teoria não é confiável. Mas como se pode conduzir um experimento com a própria Criação? Como a Criação, por definição, é um evento não reproduzível, Hume teve de concluir que é impossível verificar qualquer teoria da Criação. A ciência, ele sustentou, pode responder a quase todas as questões relativas ao universo, à exceção de uma, a Criação, o único experimento que não pode ser reproduzido.

Em certo sentido, estamos encontrando uma versão moderna do problema identificado por Hume no século XVIII. O problema permanece o mesmo: a energia necessária para recriar a Criação excede tudo que é disponível no planeta Terra. No entanto, embora a verificação experimental direta da teoria de dez dimensões em nossos laboratórios não seja possível, há várias maneiras de abordar a questão indiretamente. A abordagem mais lógica seria esperar que o Superconducting Supercollider (SSC) encontrasse partículas subatômicas que mostrassem a assinatura distintiva das supercordas, como a supersimetria. O SSC não teria podido investigar a energia de Planck, mas teria podido nos dar um forte indício indireto da correção da teoria das supercordas.

O SSC (projeto enterrado por uma formidável oposição política) teria sido uma máquina verdadeiramente monstruosa, a última de seu tipo. Quando completada em Dallas, no Texas, por volta do ano 2000, teria consistido em um gigantesco tubo de 80 quilômetros de circunferência envolto por imensos ímãs. (Se fosse centrado em Manhattan, teria se estendido bem além de Connecticut e Nova Jersey.) Mais de 3.000 cientistas em tempo integral, além de visitantes e o pessoal técnico, teriam conduzido experimentos e analisado os dados da máquina.

A finalidade do SSC era fustigar dois feixes de prótons de modo que percorressem o interior desses tubos até alcançarem uma velocidade muito próxima da velocidade da luz. Como esses feixes estariam viajando nos sentidos horário e anti-horário, seria uma simples questão fazê-los colidir dentro dos tubos quando alcançassem sua energia máxima. Os prótons se despedaçariam uns contra os outros numa energia de 40 trilhões de elétrons-volt (TeV), gerando assim uma intensa explosão de escombros subatômicos analisados por detectores. Esse tipo de colisão não ocorreu desde o próprio Big Bang (por isso o apelido do SSC:

"janela para a criação"). Entre os escombros, os físicos esperavam encontrar partículas subatômicas exóticas que teriam lançado luz sobre a forma última da matéria.

Como não é de surpreender, o SSC era um projeto extraordinário de física e engenharia, estendendo-se além dos limites da tecnologia conhecida. Como os campos magnéticos necessários para curvar os prótons e antiprótons no interior do tubo eram tão excepcionalmente grandes (da ordem de 100.000 vezes o campo magnético da Terra), procedimentos extraordinários teriam sido necessários para gerá-los e mantê-los. Por exemplo, para reduzir o aquecimento e a resistência dentro dos fios, os ímãs teriam de ser esfriados a uma temperatura próxima do zero absoluto. Depois seriam especialmente reforçados porque os campos magnéticos são tão intensos que de outro modo iriam entortar o metal do próprio ímã.

Projetado para custar 11 bilhões de dólares, o SSC se tornou objeto de intensas manobras políticas. No passado, os locais para aceleradores de partículas eram decididos por imperturbáveis critérios políticos. Por exemplo, o estado de Illinois conseguiu abrigar o acelerador Fermilab em Batavia, bem ao lado de Chicago, porque (segundo a *Physics Today*) o presidente Lyndon Johnson precisava do voto decisivo do senador Everett Dirkson sobre a Guerra do Vietnã. Com o SSC provavelmente não foi diferente. Embora muitos estados norte-americanos tenham disputado vigorosamente o projeto, provavelmente não foi uma surpresa quando em 1988 o grande estado do Texas foi escolhido para abrigar o SSC, especialmente quando tanto o presidente eleito dos Estados Unidos quanto o candidato democrata à vice-presidência vinham do Texas.

Embora bilhões de dólares tenham sido gastos no SSC, ele nunca será completado. Para horror da comunidade dos físicos, o Congresso americano votou em 1993 pelo cancelamento total do projeto. Intenso trabalho de pressão feito na tentativa de restaurar o financiamento do projeto fracassou. Para o Congresso, um dispendioso acelerador de partículas podia ser visto de duas maneiras. Podia ser uma suculenta mamata, gerando empregos e bilhões de dólares em subsídios federais para o estado que o abrigasse. Ou podia ser uma incrível mamata, desperdício de dinheiro que não geraria outros benefícios para os consumidores. Em tempos de vacas magras, eles alegavam, um brinquedo para físicos da alta energia é um luxo que o país não pode se dar. (Com justiça, contudo, o financiamento do projeto SSC deve ser posto na perspectiva adequada. O financiamento da Guerra nas Estrelas durante apenas um ano custa 4 bilhões de dólares. Custa 1 bilhão de dólares restaurar um porta-aviões. Uma única missão em ônibus espacial custa 1 bilhão de dólares. E um único bombardeiro B-2, não detectável por radares, custa quase 1 bilhão de dólares.)

Embora o SSC esteja morto, que poderíamos ter descoberto com ele? No mínimo, os cientistas esperavam encontrar partículas exóticas, como a misteriosa partícula de Higgs prevista pelo Modelo Padrão. É a partícula de Higgs que gera a quebra de simetria, sendo portanto a origem da massa dos quarks. Assim, esperávamos que o SSC teria encontrado a "origem da massa". Todos os objetos que nos cercam e têm peso devem sua massa à partícula de Higgs.

A aposta entre os físicos, no entanto, era de que havia pelo menos uma chance de que o SSC encontrasse partículas exóticas além do Modelo Padrão. (Possibilidades incluídas: partículas "tecnicolor", que residem logo além do Modelo Padrão, ou "áxions", que podem ajudar a explicar o problema da matéria escura.) Mas talvez a possibilidade mais empolgante fossem as spartículas, que são os parceiros supersimétricos das partículas comuns. O gravitino, por exemplo, é o parceiro supersimétrico do gráviton. Os parceiros supersimétricos do quark e do lépton, respectivamente, são os quark e o slépton.

Se partículas supersimétricas forem finalmente descobertas, haverá uma chance remota de que estaremos vendo os remanescentes da própria supercorda. (A supersimetria, como uma simetria de uma teoria de campo, foi descoberta pela primeira vez em 1971, antes mesmo da descoberta da supergravidade. De fato, a supercorda é provavelmente a única teoria em que supersimetria e gravidade podem ser combinadas de maneira inteiramente coerente.) E ainda que a descoberta potencial de spartículas não venha a provar a correção da teoria das supercordas, irá ajudar a silenciar os céticos que afirmaram não haver um fiapo de indício físico para sustentar a teoria das supercordas.

SINAIS DO ESPAÇO CÓSMICO

Como o SSC nunca será construído, e como nunca irá detectar partículas que são ressonâncias de baixa energia da supercorda, a possibilidade que resta é medir a energia dos raios cósmicos, que são partículas subatômicas de alta energia cuja origem ainda é desconhecida, mas deve estar profundamente entranhada no espaço exterior, além de nossa galáxia. Por exemplo, embora ninguém saiba de onde eles vêm, os raios cósmicos têm energias muito maiores que qualquer coisa encontrada em nossos laboratórios.

Os raios cósmicos, diferentemente dos raios controlados produzidos em aceleradores de partículas, têm energias imprevisíveis e não podem produzir energias precisas sob encomenda. Em certo sentido, é como tentar apagar um fogo usando uma mangueira ou esperando uma tempestade. A mangueira é muito mais conveniente. Podemos ligá-la sempre

que nos for conveniente, podemos ajustar a intensidade da água à vontade, e toda a água corre com a mesma velocidade controlada. A água de um hidrante corresponde portanto à produção de feixes controlados num acelerador de partículas. No entanto, a água de uma tempestade pode ser muito mais intensa e eficaz que a água de um hidrante. O problema, é claro, é que tempestades, como raios cósmicos, são imprevisíveis. Você não pode regular o fluxo de água da chuva, nem prever sua velocidade, que pode flutuar barbaramente.

Os raios cósmicos foram descobertos oitenta anos atrás em experimentos realizados pelo padre jesuíta Theodor Wulf no alto da Torre Eiffel em Paris. Da década de 1900 à de 1930, corajosos físicos navegaram em balões ou escalaram montanhas para obter as melhores medições de raios cósmicos. Mas a pesquisa dos raios cósmicos começou a declinar quando Ernest Lawrence inventou o ciclotron e produziu em laboratório feixes controlados mais energéticos que a maioria dos raios cósmicos. Por exemplo, raios cósmicos com energia de 100 milhões de elétrons-volt são tão comuns quanto gotas de chuva; eles atingem a atmosfera da Terra na taxa de alguns por centímetro quadrado por segundo. No entanto, a invenção de Lawrence gerava máquinas gigantes que podiam exceder essa energia por um fator de dez a cem.

Os experimentos com raios cósmicos, felizmente, mudaram imensamente desde que o padre Wulf pôs pela primeira vez potes eletrificados no alto da Torre Eiffel. Foguetes e até satélites podem agora enviar contadores de radiação muito acima da superfície da Terra, de modo que os efeitos atmosféricos são minimizados. Quando um raio cósmico de alta energia atinge a atmosfera, ele estilhaça os átomos em sua esteira. Esses fragmentos, por sua vez, criam um chuveiro de átomos quebrados, ou íons, que podem então ser localizados no solo por essa série de detectores. Uma colaboração entre a Universidade de Chicago e a Universidade de Michigan inaugurou o mais ambicioso projeto de raios cósmicos que jamais existiu, um vasto arranjo de 1.089 detectores espalhados sobre cerca de 2,5 quilômetros quadrados de deserto, esperando que chuveiros de raios cósmicos desabem sobre eles. Esses detectores estão localizados numa área ideal, isolada: o Dugway Proving Grounds, 130 quilômetros a sudoeste de Salt Lake City, em Utah.

O detector de Utah é sensível o suficiente para identificar o ponto de origem de alguns dos raios cósmicos mais energéticos. Até agora, Cygnus X-3 e Hercules X-1 foram identificados como poderosos emissores de raios cósmicos. Eles são provavelmente estrelas de nêutrons grandes e giratórias, ou mesmo buracos negros, que estão lentamente devorando uma estrela companheira, criando um vórtice de energia e vomitando gigantescas quantidades de radiação (por exemplo, prótons) no espaço exterior.

Até o momento, o raio cósmico de maior energia já detectado tinha uma energia de 10^{20} elétrons-volt. Esse número representa inacreditáveis 10 milhões de vezes a energia que teria sido produzida no SSC. Não temos a expectativa de gerar energias que se aproximem dessas energias cósmicas com nossas máquinas no próximo século. Embora essa fantástica energia ainda seja 100 milhões de vezes menor que a necessária para investigar a décima dimensão, esperamos que as energias produzidas nas profundezas dos buracos negros em nossa galáxia se aproximem da energia de Planck. Com uma grande nave espacial em órbita, deveríamos ser capazes de investigar cada vez mais profundamente a estrutura dessas fontes de energia e detectar energias ainda maiores que essas.

Segundo uma teoria muito defendida, a maior fonte de energia no seio de nossa galáxia, a Via Láctea – muito além de qualquer coisa produzida por Cygnus X-3 ou Hercules X-1 –, reside no centro, que pode consistir em milhões de buracos negros. Assim, como o SSC foi cancelado pelo Congresso, podemos descobrir que a sonda final para a exploração da décima dimensão talvez resida no espaço exterior.

TESTANDO O INTESTÁVEL

Historicamente falando, houve muitas ocasiões em que os físicos declararam solenemente que certos fenômenos eram "intestáveis" ou "não passíveis de prova". Mas há uma outra atitude que os cientistas podem adotar com relação à inacessibilidade da energia de Planck – rupturas imprevistas vão tornar possíveis experimentos indiretos nas proximidades da energia de Planck.

No século XIX, alguns cientistas declararam que a composição das estrelas estaria para sempre fora do alcance do experimento. Em 1825, o filósofo e crítico social francês Auguste Comte, escrevendo em *Cours de philosophie*, declarou que as estrelas nunca passariam para nós de pontos inatingíveis de luz no céu, nunca saberíamos mais sobre elas por causa da enorme distância que as separava de nós. As máquinas no século XIX, ou de qualquer século, afirmou ele, não eram poderosas o bastante para se libertar da Terra e alcançar as estrelas.

Embora determinar do que eram feitas as estrelas parecesse acima da capacidade de qualquer ciência, ironicamente quase ao mesmo tempo o físico alemão Joseph von Fraunhofer estava fazendo exatamente isso. Usando um prisma e um espectroscópio, ele conseguiu separar a luz branca emitida por estrelas distantes e determinar a composição química das mesmas. Como cada substância química dentro das estrelas emite uma "impressão digital" ou espectro de luz, foi fácil para Fraunhofer realizar o "impossível" e determinar que o hidrogênio é o

elemento mais abundante nas estrelas.

Isso, por sua vez, inspirou o poeta Ian D. Bush a escrever:

> Twinkle, twinkle little star
> I don't wonder what you are,
> For by spectroscopic ken,
> I know that you are hydrogen.[1][6]

Assim, embora a energia necessária para alcançar as estrelas através de foguetes estivesse muito além de tudo que Comte pudesse imaginar (ou, nesse caso, além de tudo que a ciência moderna possa imaginar), o passo decisivo não envolveu energia. A observação-chave foi que sinais vindos das estrelas, e não medições diretas, eram suficientes para resolver o problema. Da mesma maneira, podemos esperar que sinais da energia de Planck (talvez de raios cósmicos, talvez de uma outra fonte ainda desconhecida), em vez de uma medição direta obtida com grandes aceleradores de partículas, possam ser suficientes para a investigação da décima dimensão.

Outro exemplo de ideia "intestável" foi a existência de átomos. No século XIX, a hipótese atômica provava ser o passo decisivo para a compreensão das leis da química e da termodinâmica. No entanto, muitos físicos se recusavam a acreditar que átomos realmente existissem. Talvez eles não passassem de um expediente matemático que, por acidente, dava a descrição correta do mundo. Por exemplo, o filósofo Ernst Mach não acreditava na existência de átomos, senão como uma ferramenta de cálculo. (Até hoje, ainda somos incapazes de fazer fotografias diretas do átomo por causa do Princípio de Incerteza de Heisenberg, embora agora existam métodos indiretos.) Em 1905, no entanto, Einstein forneceu o indício mais convincente, embora indireto, da existência de átomos ao mostrar que o movimento browniano (isto é, o movimento aleatório de partículas de poeira suspensas num líquido) pode ser explicado como colisões aleatórias entre as partículas e os átomos no líquido.

Por analogia, podemos esperar uma confirmação experimental da física de dez dimensões usando métodos indiretos ainda não descobertos. Em vez de fotografar o objeto que desejamos, talvez tenhamos de nos satisfazer com uma fotografia de sua "sombra". A abordagem indireta seria examinar cuidadosamente dados de baixa energia de um acelerador de partículas, e tentar ver se a física de dez dimensões afeta os dados de alguma maneira.

A terceira ideia "intestável" na física foi a existência do esquivo neutrino.

Em 1930, o físico Wolfgang Pauli lançou a hipótese de uma nova e invisível partícula chamada *neutrino* para dar conta do componente de energia que faltava em certos

experimentos com radioatividade que pareciam violar a conservação da matéria e da energia. Pauli compreendeu, porém, que seria quase impossível observar neutrinos experimentalmente, porque eles iriam interagir de maneira demasiado fraca, e portanto demasiado rara, com a matéria. Por exemplo, se pudéssemos construir um bloco sólido de chumbo que se estendesse por vários anos-luz de nosso sistema solar até Alfa Centauro e o puséssemos na trajetória de um feixe de neutrinos, alguma parte ainda sairia pela outra ponta. Eles podem penetrar a terra como se ela não existisse, e, de fato, trilhões de neutrinos emitidos pelo Sol estão sempre penetrando o seu corpo, inclusive à noite. Pauli admitiu: "Cometi o pior dos pecados, previ a existência de uma partícula que jamais pode ser observada."[7]

Tão esquivo e indetectável era o neutrino que ele até inspirou um poema de John Updike, chamado "Cosmic Gall"

> Neutrinos, they are very small.
> They have no charge and have no mass
> And do not interact at all.
> The earth is just a silly ball
> To them, through which they simply pass,
> Like dustmaids down a drafty hall
> Or photons through a sheet of glass.
> They snub the most exquisite gas,
> Ignore the most substantial wall,
> Cold-shoulder steel and sounding brass,
> Insult the stallion in his stall,
> And scorning barriers of class,
> Infiltrate you and me! Like tall
> And painless guillotines, they fall
> Down through our heads into the grass.
> At night, they enter at Nepal
> And pierce the lover and his lass
> From underneath the bed – you call
> It wonderful; I call it crass.[m][8]

Embora o neutrino, por interagir escassamente com outros materiais, tenha sido outrora considerado a última ideia "intestável", hoje produzimos regularmente feixes de neutrinos em aceleradores de partículas, realizamos experimentos com neutrinos emitidos de um reator nuclear, e detectamos sua presença dentro de minas encravadas sob a superfície da terra. (De fato, quando uma espetacular supernova iluminou o céu do hemisfério sul em 1987, os físicos notaram uma explosão de neutrinos fluindo por seus detectores nas profundezas dessas minas. Essa foi a primeira vez que detectores de neutrinos foram usados para fazer medições

astronômicas decisivas.) Em três curtas décadas, os neutrinos foram transformados de ideia "intestável" num dos burros de carga da física moderna.

O PROBLEMA É TEÓRICO, NÃO EXPERIMENTAL

Na longa perspectiva da história da ciência, talvez haja alguma razão para otimismo. Witten está convencido de que a ciência será capaz um dia de investigar as energias de Planck. Ele diz:

> Nem sempre é tão fácil dizer quais são as questões fáceis e quais são as difíceis. No século XIX, a questão de por que a água ferve a 100 graus foi considerada totalmente inacessível. Se você dissesse a um físico do século XIX que na altura do século XX você teria condições de calcular isso, sua afirmação teria soado como um conto de fadas... A teoria quântica de campo é tão difícil que ninguém a entendeu durante 25 anos.

De acordo com essa visão, "boas ideias sempre acabam sendo testadas".[9]

O astrônomo Arthur Eddington chegou até a questionar se os cientistas não estariam exagerando quando insistiam que tudo deveria ser testado. Ele escreveu: "Um cientista geralmente professa basear suas crenças em observações, não em teorias... Nunca deparei com nenhum que ponha essa declaração em prática... A observação não é suficiente... a teoria tem uma parcela importante na determinação da crença."[10] O prêmio Nobel Paul Dirac disse isso de maneira ainda mais ousada: "É mais importante nossas equações terem beleza do que se ajustarem ao experimento."[11] Ou, nas palavras do físico do CERN John Ellis: "Nos dizeres de um bombom que abri alguns anos atrás: 'Só o otimista consegue alguma coisa neste mundo.'" No entanto, apesar de raciocínios que dão margem a certo grau de otimismo, a situação experimental parece sombria. Eu partilho com os céticos a ideia de que o melhor que podemos esperar são testes indiretos da teoria de dez dimensões já no século XXI. A razão disso é que, em última análise, essa teoria é uma teoria da Criação, e portanto sua verificação envolve necessariamente a recriação de uma parte do Big Bang nos nossos laboratórios.

Pessoalmente, não penso que vamos ter de esperar um século até que nossos aceleradores, sondas espaciais e contadores de raios cósmicos sejam poderosos o suficiente para investigar a décima dimensão indiretamente. Dentro de alguns anos, e certamente enquanto físicos de hoje estiverem vivos, alguém será engenhoso o suficiente para verificar ou refutar a teoria das dez dimensões, resolvendo a teoria de campo das cordas ou alguma outra formulação não perturbativa. O problema é portanto teórico, não experimental.

Supondo que algum brilhante físico resolva a teoria de campo das cordas e derive as propriedades conhecidas do nosso universo, ainda há o problema prático de quando

poderíamos ser capazes de utilizar o poder da teoria do hiperespaço. Há duas possibilidades:

1. Esperar até que nossa civilização atinja a capacidade de dominar energias trilhões de vezes maiores que tudo que podemos produzir hoje.
2. Encontrar civilizações extraterrestres que tenham dominado a arte de manipular o hiperespaço.

Lembremos que foram necessários cerca de setenta anos, entre o trabalho de Faraday e Maxwell e o trabalho de Edison e seus colaboradores, para que a força eletromagnética fosse explorada para fins práticos. No entanto a civilização moderna depende crucialmente do aproveitamento dessa força. A força nuclear foi descoberta por volta da virada do século e, passados oitenta anos, ainda não dispomos dos meios de explorá-la com sucesso com reatores de fusão. O próximo obstáculo, controlar o poder da teoria unificada de campo, exige um salto muito maior em nossa tecnologia, mas um salto que vai provavelmente ter implicações vastamente mais importantes.

O problema fundamental é que estamos forçando a teoria das supercordas a responder perguntas sobre energias cotidianas, quando seu "lar natural" está na energia de Planck. Essa fabulosa energia foi liberada unicamente no próprio instante da Criação. Em outras palavras, a teoria das supercordas é naturalmente uma teoria da Criação. Como o guepardo enjaulado, estamos pedindo que esse soberbo animal dance e cante para nosso entretenimento. O verdadeiro lar do guepardo são as vastas planícies da África. O verdadeiro "lar" da teoria das supercordas é o instante da Criação. No entanto, dada a sofisticação de nossos satélites artificiais, há talvez um último "laboratório" em que poderíamos investigar experimentalmente o lar natural da teoria da supercordas, e este é o eco da Criação!

---

l. Pisca, pisca, estrelinha / Não me intriga o que sejas, / Pois por visão espectroscópica, / Sei que és hidrogênio.

m. Neutrinos são muito pequenos. / Não têm carga, não têm massa / E não interagem de modo algum. / A Terra é apenas uma bola boba / Para eles, através da qual simplesmente passam, / Como faxineiras por um salão com correntes de ar / Ou fótons através de uma lâmina de vidro. / Eles esnobam os gases mais refinados, / Ignoram a parede mais substancial, / Aço indiferente e retumbante bronze, / Insultam o garanhão em sua baia, / E, desdenhando barreiras de classe, / Infiltram a ti e a mim! Como altas / E indolores guilhotinas, despencam / Por sobre nossas cabeças e tombam na relva. / À noite, penetram no Nepal / E perfuram o amante e sua amada / De debaixo da cama – chamas isso / De maravilha; Eu o chamo de grossura.

9

Antes da Criação

No início era o grande ovo cósmico. Dentro do ovo era o caos, e flutuando no caos era P'an Ku, o Embrião divino.
Mito P'an Ku (China, século III)

Se Deus criou o mundo, onde estava Ele antes da Criação?... Saiba que o mundo é incriado, como o próprio tempo, sem começo nem fim.
Mahapurana (Índia, século IX)

"Será que Deus teve mãe?"

Quando lhes dizem que Deus fez o céu e a terra, as crianças perguntam inocentemente se Deus teve mãe. Essa pergunta enganosamente simples confundiu os presbíteros da Igreja e embaraçou os mais excelentes teólogos, precipitando alguns dos mais espinhosos debates teológicos ao longo dos séculos. Todas as grandes religiões elaboraram mitologias em torno do ato divino da Criação, mas nenhuma delas enfrentou adequadamente os paradoxos inerentes a perguntas que até as crianças fazem.

Deus pode ter criado o céu e a Terra em sete dias, mas que aconteceu antes do primeiro dia? Se admitimos que Deus teve uma mãe, então perguntamos naturalmente se ela, por sua vez, também teve uma mãe, e assim por diante. No entanto, se Deus não teve uma mãe, essa resposta suscita ainda mais perguntas: de onde veio Deus? Terá Deus existido sempre desde toda a eternidade, ou está Deus além do próprio tempo?

Ao longo dos séculos, até grandes pintores que trabalharam a serviço da Igreja se viram às voltas com esses delicados debates teológicos em suas obras de arte: na representação de Deus ou Adão e Eva, devemos lhes dar umbigos? Como o umbigo marca o ponto de ligação com o cordão umbilical, nem Deus nem Adão e Eva poderiam ser pintados com umbigos. Michelangelo, por exemplo, enfrentou o dilema em sua célebre representação da Criação e da expulsão de Adão e Eva do Jardim do Éden ao pintar o teto da Capela Sistina. A resposta a essa questão teológica pode ser encontrada pendurada em todo grande museu: Deus, Adão e Eva simplesmente não têm umbigos, porque foram os primeiros.

PROVAS DE EXISTÊNCIA DE DEUS

Perturbado pelas incoerências na ideologia da Igreja, santo Tomás de Aquino, que escreveu no século XIII, decidiu elevar o debate teológico das indeterminações da mitologia para o rigor

da lógica. Propôs-se resolver essas antigas questões com suas célebres "provas da existência de Deus".

Aquino sintetizou essas provas no seguinte poema:

> As coisas estão em movimento, portanto há um móvel primeiro
> As coisas são causadas, portanto há uma causa primeira
> As coisas existem, portanto há um criador
> A bondade perfeita existe, portanto há uma fonte
> As coisas são planejadas, portanto servem a um propósito.[1]

(As três primeiras linhas são variações da chamada *prova cosmológica*; a quarta se assenta em bases morais; a quinta é chamada *prova teleológica*. A prova moral é de longe a mais fraca, porque a moralidade pode ser vista em termos de costumes sociais em evolução.)

As provas "cosmológica" e "teleológica" da existência de Deus de Tomás de Aquino foram usadas pela Igreja nos últimos setecentos anos para responder a essa persistente questão teológica. Embora essas provas tenham tido suas falhas expostas à luz das descobertas científicas feitas ao longo de sete séculos, elas eram bastante engenhosas para seu tempo e mostram a influência dos gregos, que foram os primeiros a introduzir rigor nas especulações sobre a natureza.

Aquino começou pela prova cosmológica, postulando que Deus era o Primeiro Móvel e o Primeiro Criador. Esquivou-se habilmente da questão de "quem fez Deus" afirmando simplesmente que a pergunta não fazia sentido. Deus não teve nenhum criador porque ele é o Primeiro. Ponto final. A prova cosmológica afirma que tudo que se move deve ter algo a empurrá-lo, o que por sua vez deve ter algo a empurrá-lo, e assim por diante. Mas o que deu início ao primeiro empurrão?

Imagine-se, por um momento, indolentemente sentado no parque e vendo um carrinho de mão se movendo diante de você. Obviamente, você pensa, é uma criança pequena que está empurrando o carrinho. Você espera um momento, só para ver outro carrinho empurrando o primeiro. Curioso, você espera um pouco mais para ver a criança, mas há um terceiro carrinho de mão empurrando os outros dois. Com o tempo você assiste a centenas de carrinhos de mão, cada um empurrando os outros, sem nenhuma criança à vista. Perplexo, você olha a distância. Tem a surpresa de ver uma infinita sequência de carrinhos de mão se estendendo até o horizonte, cada um empurrado pelos outros, sem absolutamente criança nenhuma. Se é preciso uma criança para empurrar um carrinho de mão, pode uma sequência infinita de carrinhos ser conduzida sem um Primeiro Condutor? Pode uma sequência infinita de carrinhos de mão se conduzir a si mesma? Não. Portanto Deus deve existir.

A prova teleológica é ainda mais persuasiva. Ela declara que deve ter havido um Primeiro Projetista. Por exemplo, imagine-se caminhando sobre as areias de Marte, onde os ventos e as tempestades de poeira roeram até montanhas e crateras gigantescas. Ao longo de dezenas de milhões de anos, nada escapou ao efeito corrosivo, cáustico, das tempestades de areia. Então, para sua surpresa, você encontra uma bela câmera pousada nas dunas. A lente está perfeitamente polida e o obturador feito com delicada habilidade. Com certeza, você há de pensar, as areias de Marte não poderiam ter criado um engenho tão belo. Você conclui que alguém inteligente obviamente fez aquela câmera. Depois, após vagar um pouco mais pela superfície de Marte, você dá de encontro com um coelho. Obviamente, o olho do coelho é infinitamente mais intricado que o olho da câmera. Os músculos do olho do coelho são infinitamente mais elaborados que o obturador da câmera. Portanto, o fabricante desse coelho deve ser infinitamente mais avançado que o fabricante da câmera. Esse fabricante deve portanto ser Deus.

Agora imagine as máquinas da Terra. Não há dúvida de que essas máquinas foram feitas por algo ainda maior que elas, como seres humanos. Não se discute que um ser humano é infinitamente mais complexo que uma máquina. Assim, a pessoa que nos criou deve ser infinitamente mais complexa que nós. Então, por isso, Deus deve existir.

Em 1078, santo Anselmo, o arcebispo de Canterbury, urdiu o que talvez seja a mais sofisticada prova da existência de Deus, a *prova ontológica*, que não depende em absoluto de Móveis Primeiros ou de Primeiros Projetistas. Santo Anselmo sustentou que poderia provar a existência de Deus a partir unicamente da pura lógica. Definiu Deus como o mais perfeito, o mais poderoso ser imaginável. É possível, contudo, conceber dois tipos de Deus. O primeiro Deus, imaginamos, não existe. O segundo Deus, imaginamos, realmente existe e pode operar milagres, como dividir as águas dos rios e levantar os mortos. Obviamente o segundo Deus (que existe) é mais poderoso e mais perfeito que o primeiro Deus (que não existe).

No entanto, definimos Deus como o mais perfeito e poderoso ser imaginável. Pela definição de Deus, o segundo Deus (que existe) é o mais poderoso e o mais perfeito. Portanto, o segundo Deus é o que corresponde à definição. O primeiro Deus (que não existe) é mais fraco e menos perfeito que o segundo Deus, e por isso não corresponde à definição de Deus. Portanto, Deus deve existir. Em outras palavras, se definimos Deus como "aquele ser maior sem o qual nada pode ser concebido", então Deus deve existir porque, se não existisse, seria possível conceber a existência de algo muito maior que Deus. Essa engenhosa prova religiosa, diferente das de santo Tomás de Aquino, é totalmente independente do ato da Criação e repousa exclusivamente em definições do ser perfeito.

Essas “provas” da existência de Deus perduraram por setecentos anos, desafiando as repetidas contestações dos cientistas e lógicos. A razão para isso é que não se sabia o suficiente sobre as leis fundamentais da física e da biologia. Na verdade, somente no último século foram descobertas novas leis da natureza capazes de isolar as falhas potenciais dessas provas.

A falha da prova cosmológica, por exemplo, é que a conservação da massa e da energia é suficiente para explicar o movimento sem apelo a um Móvel Primeiro. Por exemplo, moléculas de gás podem ricochetear contra as paredes de um recipiente sem requerer alguém ou qualquer coisa para pô-las em movimento. Em princípio, essas moléculas podem se mover para sempre, sem exigir princípio nem fim. Portanto, não há necessidade de um Móvel Primeiro ou de um Móvel Último desde que massa e energia se conservem.

No tocante à prova teleológica, a teoria da evolução mostra que é possível criar formas de vida mais elevadas e mais complexas a partir de outras mais primitivas através de uma seleção natural e do acaso. Finalmente, podemos encontrar a origem da própria vida na formação espontânea de moléculas de proteínas nos oceanos primitivos da Terra, sem recorrer a uma inteligência superior. Estudos conduzidos por Stanley L. Miller em 1955 mostraram que descargas elétricas enviadas através de um frasco contendo metano, amônia e outros gases encontrados na atmosfera da Terra podem criar espontaneamente moléculas complexas de hidrocarboneto e finalmente aminoácidos (precursores de moléculas de proteínas) e outras moléculas orgânicas complexas. Portanto, um Primeiro Projetista não é necessário para criar os componentes essenciais da vida, que podem, ao que parece, emergir naturalmente a partir de substâncias químicas inorgânicas se lhes for dado tempo suficiente.

E, por fim, Immanuel Kant foi o primeiro a isolar o erro na prova ontológica após séculos de confusão. Kant assinalou que afirmar que um objeto existe não o torna mais perfeito. Por exemplo, esta prova pode ser utilizada para constatar a existência do unicórnio se definimos o unicórnio como o mais perfeito cavalo imaginável, e se os unicórnios não existem, então é possível imaginar um unicórnio que exista. Mas dizer que ele existe não significa que ele seja mais perfeito que um unicórnio que não existe. Portanto, unicórnios não precisam necessariamente existir. E tampouco Deus.

Fizemos algum progresso desde o tempo de são Tomás e santo Anselmo?

Sim e não. Podemos dizer que as teorias atuais da Criação se erguem sobre dois pilares: a teoria quântica e a teoria da gravitação de Einstein. Podemos dizer que, pela primeira vez em mil anos, “provas” religiosas da existência de Deus estão sendo substituídas por nossa compreensão da termodinâmica e da física das partículas. No entanto, ao substituir o ato

divino de Criação pelo Big Bang, suplantamos um problema com um outro. Aquino pensava ter resolvido o problema do que veio antes de Deus definindo-o como o Primeiro Móvel. Hoje, continuamos nos batendo com a questão do que aconteceu antes do Big Bang.

Infelizmente, as equações de Einstein sucumbem nas distâncias imensamente pequenas e nas grandes energias encontradas na origem do universo. A distâncias da ordem de 10^{-33} centímetros, efeitos quânticos suplantam a teoria de Einstein. Assim, para resolver as questões filosóficas que envolvem o início dos tempos, temos de invocar necessariamente a teoria das dez dimensões.

Ao longo de todo este livro, enfatizamos o fato de que as leis da física se unificam quando acrescentamos dimensões. Ao estudar o Big Bang, vemos a inversão precisa desta afirmação. O Big Bang, como veremos, originou-se talvez no colapso do universo original num universo de quatro e num de seis dimensões. Assim, podemos conceber a história do Big Bang como a história da falência de um espaço de dez dimensões e portanto a derrocada das simetrias previamente unificadas. Isto, por sua vez, é o tema deste livro ao inverso.

Não é de surpreender, portanto, que congregar a dinâmica do Big Bang tenha sido tão difícil. De fato, retrocedendo no tempo, estamos reunindo as peças do universo de dez dimensões.

INDÍCIOS EXPERIMENTAIS DO BIG BANG

A cada ano, encontramos mais indícios experimentais de que o Big Bang ocorreu cerca de 15 bilhões a 20 bilhões de anos atrás. Vamos rever alguns desses resultados experimentais.

Primeiro, o fato de as estrelas estarem se afastando de nós com velocidades fantásticas foi repetidamente verificado pela medida da distorção de sua luz estelar (o chamado desvio para o vermelho). (A luz de uma estrela que se afasta é desviada para comprimentos de onda mais longos – isto é, em direção à extremidade vermelha do espectro – tal como o apito de um trem soa mais agudo que o normal quando ele está se aproximando e mais grave quando ele se afasta. Esse é o chamado efeito Doppler. Além disso, a Lei de Hubble afirma que quanto mais afastadas de nós estão a estrela ou a galáxia, mais depressa elas seguem se afastando de nós. Este fato, anunciado pelo astrônomo Edwin Hubble em 1929, foi verificado experimentalmente ao longo dos últimos cinquenta anos.) Não vemos nenhum desvio para o azul das galáxias distantes, o que significaria um universo em colapso.

Segundo, sabemos que a distribuição dos elementos químicos em nossa galáxia está em conformidade quase exata com a previsão de produção de elementos pesados no Big Bang e

nas estrelas. No Big Bang original, por causa do enorme calor, núcleos de hidrogênio chocaram-se uns com os outros com velocidades suficientemente altas para fundi-los, formando um novo elemento: o hélio. A teoria do Big Bang prevê que a razão de hélio para hidrogênio no universo deveria ser de cerca de 25% de hélio para 75% de hidrogênio. Isso está de acordo com o resultado observacional para a abundância de hélio no universo.

Terceiro, os mais antigos objetos no universo datam de 10 bilhões a 15 bilhões de anos, em consonância com a estimativa grosseira para a ocorrência do Big Bang. Não vemos nenhum indício de objetos mais antigos que o Big Bang. Como os materiais radioativos se desintegram (por exemplo, através das interações fracas) a uma taxa precisamente conhecida, é possível saber a idade de um objeto calculando a abundância relativa de certos materiais radioativos nele. Por exemplo, metade de uma substância radioativa chamada carbono 14 se desintegra a intervalos de 5.730 anos, o que nos permite determinar a idade de artefatos arqueológicos que contêm carbono. Outros elementos radioativos (como urânio 238, com meia-vida de 4 bilhões de anos) nos permitem determinar a idade de rochas lunares (trazidas pela missão *Apollo*). As rochas e os meteoros mais antigos encontrados na Terra datam de cerca de 4 bilhões a 5 bilhões de anos, o que é aproximadamente a idade do sistema solar. Calculando a massa de certas estrelas cuja evolução é conhecida, pode-se mostrar que as estrelas mais velhas de nossa galáxia remontam a 10 bilhões de anos.

Quarto, e o mais importante, o Big Bang produziu um "eco" cósmico que reverberou por todo o universo e que deveria ser mensurável por nossos instrumentos. De fato, Arno Penzias e Robert Wilson, dos Bell Telephone Laboratories, ganharam o prêmio Nobel de 1978 por detectar esse eco do Big Bang, uma radiação de micro-onda que permeia o universo conhecido. O fato de o eco do Big Bang estar circulando pelo universo bilhões de anos após o evento foi previsto pela primeira vez por George Gamow e seus alunos Ralph Alpher e Robert Herman, mas ninguém os levou muito a sério. A própria ideia de medir o eco da Criação parecia extravagante quando eles a apresentaram pela primeira vez, pouco depois da Segunda Guerra Mundial.

A lógica deles, contudo, era muito convincente. Qualquer objeto, quando aquecido, emite radiação gradualmente. É por isso que o ferro fica rubro quando posto numa fornalha. Quanto mais quente o ferro, maior a frequência da radiação que ele emite. Uma fórmula matemática precisa, a lei de Stefan-Boltzmann, relaciona a frequência da luz (ou da cor, neste caso) com a temperatura. (De fato, é assim que os cientistas determinam a temperatura de superfície de uma estrela distante, examinando sua cor.) Essa radiação é chamada radiação do corpo negro.

Quando o ferro esfria, a frequência da radiação emitida também decresce, até que o ferro

já não emite no espectro visível. O ferro retorna à sua cor normal, mas continua a emitir radiação infravermelha invisível. É assim que os óculos para a noite do exército operam no escuro. À noite, objetos relativamente aquecidos, como soldados inimigos e tanques, podem ficar escondidos na escuridão, mas continuam a emitir radiação invisível do corpo negro na forma de radiação infravermelha, que pode ser captada por grandes óculos especiais infravermelhos. É por isso também que seu carro fechado adquire calor durante o verão. A luz solar penetra os vidros e aquece seu interior. À medida que ele vai esquentando, começa a emitir radiação do corpo negro na forma de radiação infravermelha. No entanto, a radiação infravermelha não penetra o vidro muito bem, por isso fica aprisionada dentro do seu carro, elevando drasticamente sua temperatura (de maneira semelhante, radiação do corpo negro propele o efeito estufa. Como o vidro, níveis crescentes de dióxido de carbono na atmosfera, gerados pela queima de combustíveis fósseis, podem aprisionar a radiação infravermelha do corpo negro da Terra e com isso aquecer gradualmente o planeta).

Gamow raciocinou que o Big Bang foi inicialmente muito quente, e portanto deve ter sido um corpo negro emissor de radiação ideal. Embora a tecnologia da década de 1940 fosse primitiva demais para detectar esse fraco sinal da Criação, ele calculou a temperatura dessa radiação "fóssil" e declarou confiantemente que um dia nossos instrumentos seriam sensíveis o bastante para detectá-la. A lógica subjacente a seu raciocínio era a seguinte: cerca de 300.000 anos depois do Big Bang, o universo esfriou a tal ponto que átomos puderam começar a se condensar; elétrons puderam começar a circular em torno de prótons e a formar átomos estáveis que não mais seriam rompidos pela intensa radiação que permeava o universo. Antes desse tempo, o universo era tão quente que os átomos eram continuamente rasgados pela radiação, mal se formavam. Isso significa que o universo era opaco, como uma neblina espessa, absorvente, impenetrável. Passados 300.000 anos, contudo, a radiação não era mais suficientemente forte para romper os átomos, e assim a luz pôde atravessar longas distâncias sem ser dispersada. Em outras palavras, o universo tornou-se subitamente negro e transparente após 300.000 anos. (Estamos tão acostumados a ouvir sobre o "negrume do espaço cósmico" que nos esquecemos de que o universo primevo nada tinha de transparente, sendo cheio de radiação opaca, turbulenta.)

Depois de 300.000 anos, a radiação eletromagnética não mais interagia de maneira tão forte com a matéria e assim tornou-se radiação do corpo negro. Gradualmente, à medida que o universo foi esfriando, a frequência dessa radiação decresceu. Gamow e seus alunos calcularam que a radiação estaria muito abaixo do espectro infravermelho, na região das micro-ondas. Gamow raciocinou que esquadrinhando o céu à procura de uma fonte uniforme e

isotrópica de radiação de micro-onda seria possível detectar essa radiação de micro-onda e descobrir o eco do Big Bang.

A previsão de Gamow ficou esquecida durante muitas décadas, até que a radiação cósmica de fundo foi descoberta, quase por acidente, em 1965. Penzias e Wilson descobriram um misterioso fundo de radiação que permeava todo o espaço quando operavam sua nova antena refletora em Holmdel, Nova Jersey. De início, pensaram que aquela radiação indesejada era devida à estática elétrica causada por contaminantes como fezes de pássaro em sua antena. Após desmontar e limpar grandes porções da antena, contudo, perceberam que a "estática" persistia. Ao mesmo tempo, os físicos Robert Dicke e James Peebles, da Universidade de Princeton, estavam reelaborando os antigos cálculos de Gamow. Quando Penzias e Wilson foram finalmente informados do trabalho dos físicos de Princeton, ficou claro que havia uma relação direta entre seus resultados. Dizem que quando eles compreenderam que aquela radiação de fundo podia ser o eco do Big Bang *original*, teriam exclamado: "Ou vimos uma montanha de titica de passarinho, ou a criação do universo!" Eles descobriram que essa radiação uniforme de fundo era quase exatamente o que havia sido previsto por George Gamow e seus colaboradores se o Big Bang tivesse deixado um manto residual de radiação que teria se esfriado a 3º K.

COBE E O BIG BANG

A que foi talvez a mais espetacular confirmação da teoria do Big Bang veio em 1992, com os resultados do satélite *COBE* (Cosmic Background Explorer). No dia 23 de abril, as manchetes dos jornais pelo país inteiro alardearam as descobertas de uma equipe de cientistas da Universidade da Califórnia em Berkeley, liderada por George Smoot, que anunciou o mais sensacional e convincente argumento em prol do Big Bang. Jornalistas e colunistas sem nenhum conhecimento de física ou de teologia passaram de repente a discorrer sobre a "face de Deus" nas matérias que enviavam.

O satélite *COBE* foi capaz de aperfeiçoar vastamente o trabalho anterior de Penzias, Wilson, Peebles e Dicke por muitas ordens de magnitude, o suficiente para descartar qualquer dúvida de que a radiação fóssil emitida pelo Big Bang tinha sido conclusivamente encontrada. O cosmólogo de Princeton, Jeremiah P. Ostriker, declarou: "Quando foram encontrados fósseis nas rochas, isso tornou a origem da espécie absolutamente óbvia. Bem, o *COBE* encontrou seus fósseis."[2] Lançado no final de 1989, o satélite *COBE* foi especificamente projetado para analisar os detalhes microscópicos da estrutura da radiação de fundo de micro-ondas

primeiramente postulada por George Gamow e seus colaboradores. A missão *COBE* teve também uma nova tarefa: solver um enigma mais antigo surgido da radiação de fundo.

O trabalho original de Penzias e Wilson era grosseiro: eles só eram capazes de mostrar que a radiação de fundo era regular até 10%. Quando cientistas analisaram a radiação de fundo de maneira mais detalhada, constataram que ela era excepcionalmente regular, sem nenhuma ruga, dobradura ou remendos aparentes. De fato era homogênea *demais*. A radiação de fundo se assemelhava a uma neblina fluida e invisível que enchia o universo, tão uniforme que os cientistas tiveram dificuldade para conciliá-la com dados astronômicos.

Na década de 1970, os astrônomos voltaram seus grandes telescópios para a elaboração sistemática de mapas de enormes conjuntos de estrelas ao longo de grandes porções do céu. Para sua surpresa, descobriram que 1 bilhão de anos depois do Big Bang, o universo já exibia um padrão de condensação em galáxias e até grandes aglomerados de galáxias e espaços imensos, vazios, chamados vácuos. Os aglomerados eram enormes, contendo bilhões de galáxias ao mesmo tempo, e os vácuos se estendiam por milhões de anos-luz.

Mas havia aqui um mistério cósmico: se o Big Bang era excepcionalmente regular e uniforme, 1 bilhão de anos não teria sido tempo suficiente para o desenvolvimento dos grumos que vemos entre os aglomerados de galáxias. A flagrante incompatibilidade que verificamos entre o Big Bang regular inicial e o caráter grumoso do universo 1 bilhão de anos depois era uma sinuca de bico que afligia todo cosmólogo. Nunca pairou nenhuma dúvida sobre a própria teoria do Big Bang; o que estava em causa era nossa compreensão do pós-Big Bang, 1 bilhão de anos após a Criação. Mas na falta de satélites sensíveis que fossem capazes de medir a radiação de fundo, o problema permaneceu um enigma ao longo dos anos. De fato, na altura de 1990, jornalistas sem formação científica rigorosa começaram a escrever artigos sensacionalistas, afirmando erroneamente que os cientistas haviam encontrado um erro fatal na própria teoria do Big Bang. Muitos jornalistas escreveram que a teoria do Big Bang estava prestes a ser destronada. Alternativas para o Big Bang desacreditadas havia muito começam a voltar à baila na imprensa. Até o *New York Times* publicou um grande artigo dizendo que a teoria do Big Bang estava seriamente ameaçada (o que era cientificamente incorreto).

A pseudocontrovérsia em torno da teoria do Big Bang tornou a divulgação dos dados do *COBE* ainda mais interessante. Com uma precisão sem precedentes, capaz de detectar variações tão pequenas como uma parte em 100.000, o satélite *COBE* foi capaz de rastrear o céu e enviar de volta por rádio o mais preciso mapa da radiação cósmica de fundo jamais elaborado. Os resultados do *COBE* confirmaram a teoria do Big Bang, e mais.

Os dados do *COBE*, no entanto, não são de fácil análise. A equipe chefiada por Smoot teve

de enfrentar enormes problemas. Por exemplo, tiveram de subtrair cuidadosamente o efeito do movimento da Terra sobre a radiação de fundo. O sistema solar deriva a uma velocidade de 370 quilômetros por segundo em relação à radiação de fundo. Há também o movimento relativo do sistema solar com relação à galáxia e os complexos movimentos da galáxia com relação a aglomerados de galáxias. Apesar de tudo, após penosos aperfeiçoamentos computacionais, vários resultados assombrosos resultaram da análise. Primeiro, o fundo de micro-ondas corresponde à previsão anterior de George Gamow (ajustada com números experimentais mais precisos) com uma margem de erro de 0,1% (Figura 9.1). A linha sólida representa a previsão, as marcas com um *x*, os pontos de dados medidos pelo satélite *COBE*. Quando este gráfico foi projetado na tela pela primeira vez num encontro de cerca de mil astrônomos, todos na sala se levantaram e aplaudiram de pé. Aquela foi talvez a primeira vez na história da ciência que um simples gráfico recebeu um aplauso tão estrepitoso de tantos eminentes cientistas.

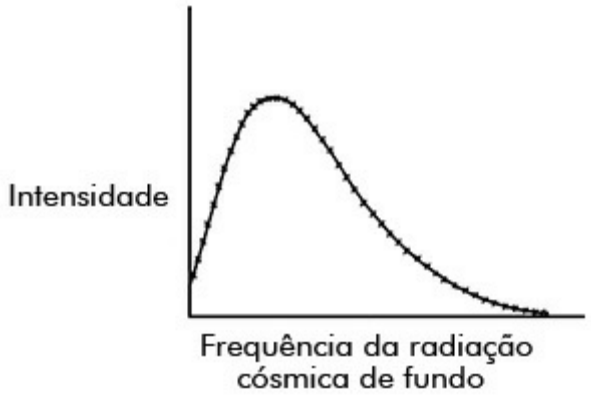


Figura 9.1. A linha sólida representa a previsão feita pela teoria do Big Bang, segundo a qual a radiação cósmica de fundo deveria se assemelhar à radiação do corpo negro na região das micro-ondas. Os x *representam os dados reais coleta dos pelo satélite* COBE*, fornecendo-nos uma das mais convincentes provas da teoria do Big Bang.*

Segundo, a equipe de Smoot foi capaz de mostrar que bolhas minúsculas apareciam, de fato, no fundo de micro-ondas. Essas minúsculas bolhas eram precisamente aquilo de que se precisava para explicar a granulosidade e os vazios encontrados 1 bilhão de anos depois do Big Bang. (Se essas bolhas não tivessem sido encontradas pelo *COBE*, uma revisão mais ampla da análise pós-Big Bang teria de ter sido feita.)

Terceiro, os resultados estavam de acordo com a chamada *teoria da inflação*, embora não a provassem. (Essa teoria, proposta por Alan Guth, do MIT, declara que houve uma expansão muito mais explosiva do universo no instante inicial da Criação do que o cenário usual do Big Bang propõe; ela sustenta que o universo visível aos nossos telescópios é somente a mais minúscula parte de um universo muito maior cujas fronteiras jazem além de nosso horizonte

visível.)

ANTES DA CRIAÇÃO: *ORBIFOLDS*?

Os resultados do *COBE* deram aos físicos a certeza de que compreendemos a origem do universo dentro de uma fração de um segundo após o Big Bang. No entanto, ainda nos restam questões embaraçosas acerca do que precedeu o Big Bang e de como ele ocorreu. A relatividade geral, se levada a seus limites, acaba por fornecer respostas absurdas. Einstein, compreendendo que a relatividade geral simplesmente fracassa a essas distâncias enormemente pequenas, tentou ampliá-la numa teoria mais abrangente que pudesse explicar esses fenômenos.

No instante do Big Bang, esperamos que efeitos quânticos sejam a força dominante, sobrepujando a gravidade. A chave para a origem do Big Bang, portanto, é uma teoria quântica da gravidade. Até o momento, a única teoria que pode pretender resolver o mistério do que aconteceu antes do Big Bang é a teoria das supercordas de dez dimensões. Os cientistas estão neste momento conjeturando como o universo de dez dimensões se partiu num universo quadrimensional e num outro hexadimensional. Que aparência tem nosso universo gêmeo?

Um físico que está se batendo com essas questões cósmicas é Cumrum Vafa, professor de Harvard que passou vários anos estudando como nosso universo de dez dimensões pode ter sido dilacerado em dois universos menores. Ironicamente, ele também é um físico dilacerado entre dois mundos. Morando em Cambridge, Massachusetts, Vafa é originário do Irã, que foi violentamente sacudido por convulsões políticas nos anos 80. Por um lado, ele deseja um dia retornar ao seu Irã natal, talvez quando o tumulto social tiver se acalmado. Por outro, sua pesquisa o conduz para muito longe daquela conflituada região do mundo, por todo o percurso que leva aos mais distantes confins do espaço hexadimensional, muito antes que o tumulto do universo primevo tivesse uma chance de se estabilizar.

"Imagine um simples videogame", ele diz. Um foguete pode viajar na tela do monitor, ele assinala, até que ele dá uma guinada, jogando-se demais para a direita. Todo jogador de videogame sabe que o foguete vai então aparecer subitamente do lado esquerdo da tela, exatamente na mesma altura. De maneira semelhante, se o foguete se afasta demais e cai pela parte de baixo da tela, ele vai se materializar no alto da tela. Assim, explica Vafa, há um universo inteiramente autônomo e independente naquela tela de vídeo. Você nunca é capaz de escapar do universo definido por aquela tela. Mesmo assim, a maioria dos adolescentes nunca perguntou a si mesmo como esse universo é realmente conformado. Vafa assinala, de maneira

bastante surpreendente, que a topologia da tela de vídeo é a de um tubo interno!

Pense na tela de vídeo como uma folha de papel. Como os pontos no alto da tela são idênticos aos pontos na base, podemos unir os lados de cima e de baixo um ao outro com cola. Agora enrolamos a folha de papel num tubo. Mas os pontos no lado esquerdo do tubo são idênticos aos pontos do lado direito. Uma maneira de unir esses dois pontos é curvar o tubo cuidadosamente num círculo e pregar as duas extremidades com cola (Figura 9.2).

O que fizemos foi transformar uma folha de papel numa rosca. Um foguete vagando pela tela de vídeo pode ser descrito como se movendo na superfície de um tubo interno. Cada vez que o foguete desaparece da tela de vídeo e ressurge do outro lado da tela, isso corresponde ao foguete atravessando a junta colada do tubo interno.

Vafa conjetura que nosso universo irmão tem a forma de uma espécie de toro hexadimensional torcido. Vafa e seus colaboradores lançaram o conceito pioneiro de que nosso universo irmão pode ser descrito pelo que os matemáticos chamam de um *orbifold*. De fato, sua proposta de que o nosso universo irmão tem a topologia de um *orbifold* parece se encaixar igualmente nos dados observados.[3]

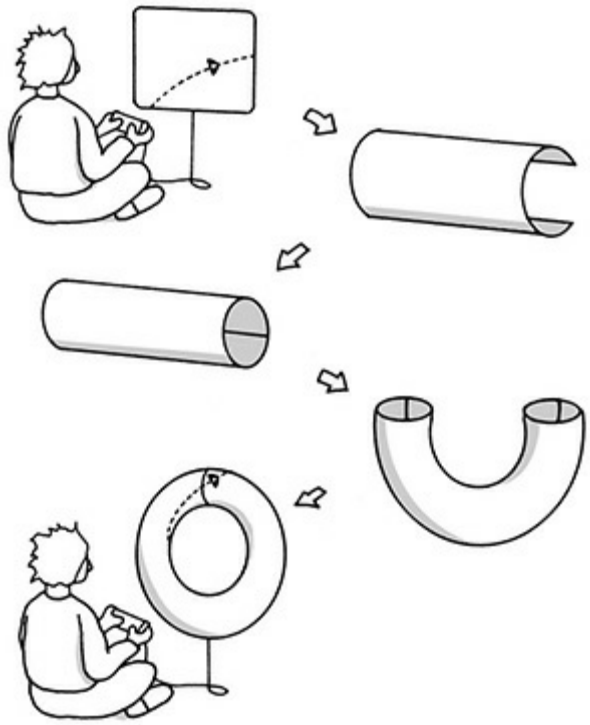


Figura 9.2. Se um foguete desaparece pelo lado direito de uma tela de videogame, ele ressurge à esquerda. Se desaparece no alto, reaparece embaixo. Vamos agora enrolar a tela de modo que pontos idênticos se encontrem. Primeiro fazemos encontrar as pontas de cima e a de baixo enrolando a tela. Depois, fazemos coincidir os pontos da esquerda e da direita encurvando a tela como um tubo. Dessa maneira, podemos mostrar que a tela de um videogame tem a topologia de uma rosca.

Para visualizar um *orbifold*, imagine que está se movendo 360 graus num círculo. Todo mundo sabe que vamos parar no mesmo ponto. Em outras palavras, se danço 360 graus em

torno de um mastro de São João, sei que vou voltar ao mesmo ponto. Num *orbifold*, no entanto, movemo-nos menos de 360 graus em torno do mastro de São João e ainda assim nos vemos de volta ao mesmo ponto. Embora isso possa parecer absurdo, é fácil construir *orbifolds*. Pense em chatalandeses vivendo num cone. Se eles se moverem menos de 360 graus em torno do ápice do cone, chegam ao mesmo ponto. Assim, um *orbifold* é uma generalização em dimensões múltiplas de um cone (Figura 9.3).

Para ter uma ideia dos *orbifolds*, imagine que alguns chatalandeses vivem na chamada *orbifold*-Z, que é equivalente à superfície de um saco de feijão quadrado (como esses que se veem em festas e feiras do interior). De início, não parece nada diferente do que viver na própria Chatalândia. À medida que eles exploram a superfície, porém, começam a encontrar alguns eventos estranhos. Por exemplo, se um chatalandês caminha em qualquer direção por tempo suficiente, ele retorna à sua posição original como se tivesse andado em círculo. No entanto, os chatalandeses percebem também que há algo de estranho acerca de certos pontos de seu universo (as quatro pontas do saco de feijão). Quando giram em torno de qualquer um desses pontos 180 graus (e não 360 graus), retornam ao mesmo lugar de onde partiram.

O que os *orbifolds* de Vafa têm de notável é que, com apenas algumas suposições, podemos derivar muitas das características dos quarks e de outras partículas subatômicas. (Isso ocorre porque, como vimos antes, a geometria do espaço na teoria Kaluza-Klein força os quarks a assumirem a simetria daquele espaço.) Isto nos deixa confiantes de estarmos no caminho certo. Se esses *orbifolds* nos dessem resultados totalmente sem sentido, nossa intuição nos diria que há algo fundamentalmente errado com sua construção.

Se nenhuma das soluções da teoria das cordas contiver o Modelo Padrão, devemos jogar fora a teoria das cordas como mais uma teoria promissora mas em última análise incorreta. No entanto, os físicos estão entusiasmados com o fato de ser possível obter soluções atraentemente próximas do Modelo Padrão.

Nos últimos oitenta anos os matemáticos estiveram elaborando as propriedades dessas estranhas superfícies com dimensões adicionais, desde que o matemático francês Henri Poincaré lançou o tema da topologia no início do século XX. Assim, a teoria de dez dimensões é capaz de incorporar um grande corpo de matemática moderna que anteriormente parecia quase inútil.

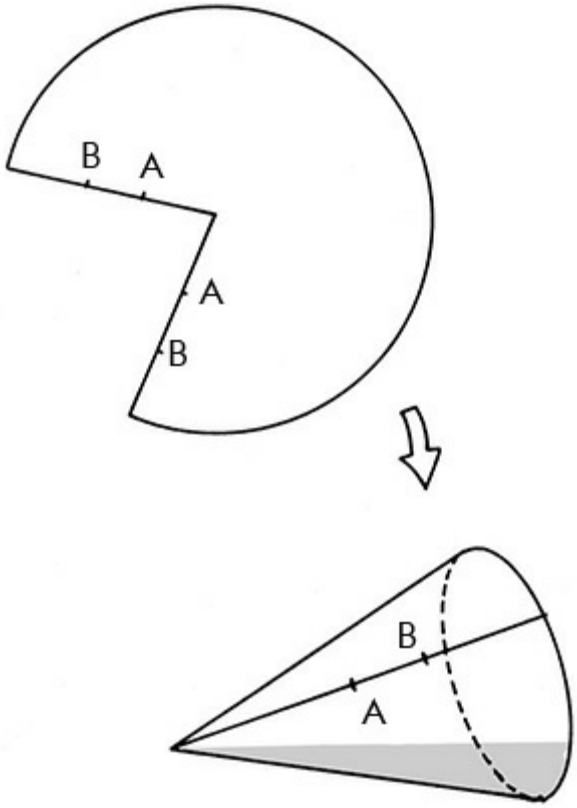


Figura 9.3. Se juntarmos os pontos A e B, formaremos um cone, que é o mais simples exemplo de um orbifold. *Na teoria das cordas, nosso universo quadridimensional pode ter um gêmeo de seis dimensões, que tem a topologia de um* orbifold. *No entanto, o universo hexadimensional é tão pequeno que é inobservável.*

POR QUE HÁ TRÊS GERAÇÕES?

Em particular, o rico acervo dos teoremas compilados pelos matemáticos ao longo do último século está agora sendo usado para explicar por que há três famílias de partículas. Como vimos antes, uma característica desastrosa das GUTs é que elas comportam três famílias idênticas de quarks e léptons. No entanto, *orbifolds* podem explicar essa desconcertante característica das GUTs.[4]

Vafa e seus colaboradores descobriram muitas soluções promissoras para as equações das cordas que parecem recongregar o mundo físico. De fato, com um conjunto extraordinariamente pequeno de pressupostos, eles conseguem rederivar o Modelo Padrão, que é um importante passo para a teoria. Na verdade, isto é tanto a força quando a debilidade da teoria das supercordas. Vafa e seus colaboradores foram, num certo sentido, bem-sucedidos demais: descobriram milhões de outras possíveis soluções para as equações das cordas.

O problema fundamental que a teoria das supercordas enfrenta é: *dos milhões de possíveis universos que podem ser matematicamente gerados pela teoria das supercordas, qual é o correto?* Como disse David Gross,

> Há milhões e milhões de soluções com três dimensões espaciais. Há uma enorme abundância de soluções clássicas

possíveis... Essa abundância de riquezas foi originalmente muito agradável porque fornecia indícios de que uma teoria como a da corda heterótica podia ser muito semelhante ao mundo real. Essas soluções, além de terem quatro dimensões de espaço-tempo, tinham muitas outras propriedades que se assemelhavam ao nosso mundo – os tipos certos de partículas, como os quarks e os léptons, e os tipos certos de interações (...) Isso foi uma fonte de entusiasmo dois anos atrás.[5]

Gross adverte que, embora algumas dessas soluções estejam muito próximas do Modelo Padrão, outras produzem propriedades físicas indesejáveis. "É, no entanto, ligeiramente embaraçoso que tenhamos tantas soluções mas nenhum bom meio para escolher entre elas. Parece ainda mais embaraçoso que essas soluções tenham, além de muitas propriedades desejadas, algumas propriedades potencialmente desastrosas."[6] Um leigo, ouvindo isto pela primeira vez, pode ficar perplexo e perguntar: por que vocês não calculam simplesmente que solução as cordas preferem? Como a teoria das cordas é uma teoria bem definida, parece intrigante que os físicos não possam calcular a resposta.

O problema é que a teoria da perturbação, uma das principais ferramentas da física, não adianta de nada. A teoria da perturbação (que acrescenta correções quânticas cada vez menores) fracassa em quebrar a teoria de dez dimensões em quatro e seis dimensões. Assim somos obrigados a lançar mão de métodos não perturbativos, de uso notoriamente difícil. Essa, portanto, é a razão por que não podemos resolver a teoria das cordas. Como dissemos antes, a teoria de campo das cordas, desenvolvida por Kikkawa e por mim e depois aperfeiçoada por Witten, não pode ser resolvida no momento de maneira não perturbativa. Ninguém é inteligente o bastante para isso.

Uma vez dividi um apartamento com um estudante de pós-graduação de História. Lembro-me de que um dia ele me advertiu a propósito da revolução dos computadores, que poderia acabar tirando o emprego dos físicos. "Afinal de contas", disse ele, "os computadores podem calcular tudo, não podem?" Para ele, tratava-se apenas de uma questão de tempo antes que os matemáticos pusessem todas as questões de física no computador e os físicos fossem parar nas filas de desempregados.

O comentário me pegou de surpresa, porque para um físico um computador nada mais é que uma sofisticada máquina de calcular, um impecável idiota. Ele apresenta em velocidade o que lhe falta em inteligência. Você tem de introduzir a teoria no computador antes que ele possa fazer um cálculo. O computador não é capaz de gerar novas teorias por si mesmo.

Além disso, mesmo que uma teoria seja conhecida, o computador pode levar um tempo infinito para resolver um problema. De fato, a computação de todas as questões realmente interessantes em física demandaria uma quantidade infinita de tempo de computador. Esse é o problema com a teoria das cordas. Embora Vafa e seus colegas tenham produzido milhões de

soluções possíveis, seria necessária uma extensão de tempo infinita para decidir qual dos milhões de possibilidades é a correta, ou para calcular soluções para problemas quânticos que envolvem o estranho processo de tunelamento, um dos fenômenos quânticos de mais difícil solução.

TUNELAMENTO ATRAVÉS DO ESPAÇO E TEMPO

Na análise final, estamos fazendo a mesma pergunta formulada por Kaluza em 1919 – onde foi parar a quinta dimensão? –, exceto que num nível muito mais alto. Como Klein assinalou em 1926, a resposta a essa questão tem a ver com a teoria quântica. Talvez o mais sensacional (e complexo) fenômeno na teoria quântica seja o tunelamento.

Por exemplo, estou agora sentado nesta cadeira. A ideia de meu corpo zunindo subitamente através das moléculas da parede próxima a mim e voltando a se congregar, sem ser convidado, na sala de visitas de outra pessoa é bastante desagradável. Além disso, um evento improvável. No entanto, a mecânica quântica postula que há uma possibilidade finita (embora pequena) de até os mais improváveis e esquisitos eventos – como acordar de manhã e encontrar nossa cama no meio da selva amazônica – virem realmente a acontecer. Todos os eventos, por mais estranhos que sejam, são reduzidos pela teoria quântica a probabilidades.

Esse processo de tunelamento mais parece ficção científica que ciência real. No entanto, o tunelamento pode ser medido em laboratório e, de fato, resolve o enigma da desintegração radioativa. Normalmente, o núcleo de um átomo é estável. Os prótons e os nêutrons no interior do núcleo são ligados uns aos outros pela força nuclear. No entanto, há uma pequena probabilidade de que o núcleo se desintegre, de que os prótons e os nêutrons possam escapar por um túnel através da grande barreira de energia, a força nuclear, que mantém o núcleo coeso. Comumente, diríamos que todos os núcleos devem por isso ser estáveis. Mas é um fato inegável que os núcleos de urânio sofrem uma desintegração, quando não deveriam; na verdade, a lei da conservação da energia é brevemente violada quando os nêutrons do núcleo abrem um túnel através da barreira.

O busílis, no entanto, é que essas probabilidades são ínfimas para grandes objetos, como seres humanos. A probabilidade de nosso tunelamento através de uma parede dentro do tempo de vida de nosso universo conhecido é infinitesimalmente pequena. Assim, posso supor com segurança que não serei desajeitadamente transportado através da parede no meu tempo de vida. De maneira similar, nosso universo, que originalmente pode ter começado como um universo de dez dimensões, não era estável: ele abriu um túnel e explodiu em um universo de

quatro e outro de seis dimensões.

Para entender essa forma de tunelamento, pense num filme imaginário de Charlie Chaplin, em que Chaplin está tentando estender um lençol sobre uma cama grande demais. O lençol é do tipo que tem fitas de elástico nos cantos. Mas é pequeno demais, por isso Chaplin tem de forçar para passar as fitas de elástico em torno de cada canto do colchão, um de cada vez. Ele dá um largo sorriso de satisfação quando consegue deixar o lençol todo esticado e liso em torno dos quatro cantos do colchão. Mas a pressão é grande demais; uma fita de elástico se solta de um canto e o lençol se enrola. Frustrado, ele empurra esse elástico pelo canto, só para ver outro elástico se soltar em outro canto. A cada vez que ele puxa um elástico em volta de um canto, outro elástico se desprende.

Esse processo é chamado *quebra de simetria*. O lençol liso e esticado possui um alto grau de simetria. Podemos girar a cama 180 graus ao longo de qualquer eixo e o lençol permanece o mesmo. Esse estado altamente simétrico é chamado *falso vácuo.* Embora o falso vácuo pareça perfeitamente simétrico, ele não é estável. O lençol não deseja ficar nessa condição esticada. Há um excesso de tensão. A energia é muito alta. Assim, um elástico se desprende e o lençol se enrola. A simetria está quebrada, e o lençol passou para um estado de menor energia com menor simetria. Girando o lençol enrolado 180 graus em torno de um eixo, não vamos mais retornar ao mesmo lençol.

Agora substitua o lençol por um espaço-tempo de dez dimensões, o espaço-tempo de máxima simetria. No início dos tempos, o universo era perfeitamente simétrico. Se alguém andasse por lá nessa altura, poderia passar livremente através de qualquer das dez dimensões sem problemas. Nesse tempo, a gravidade e a força fraca, a forte e as forças eletromagnéticas estavam todas unificadas pela supercorda. Toda a matéria e as forças eram parte do mesmo multipleto de cordas. No entanto, essa simetria não podia durar. O universo de dez dimensões, embora perfeitamente simétrico, era instável, exatamente como o lençol, e estava num falso vácuo. Assim, o tunelamento para um estado de energia mais baixo era inevitável. Quando o tunelamento finalmente ocorreu, deu-se uma transição de fase e a simetria foi perdida.

Tendo começado a se partir num universo de quatro e outro de seis dimensões, o universo não era mais simétrico. Seis dimensões haviam se enroscado, da mesma maneira que lençóis se enroscam quando um elástico se solta de um canto do colchão. Mas observe que há quatro maneiras pelas quais o lençol pode se enrolar, dependendo do canto em que o elástico se soltou primeiro. Para o universo de dez dimensões, contudo, há aparentemente milhões de maneiras de se enrolar. Para calcular que estado o universo de dez dimensões prefere, precisamos resolver a teoria de campo das cordas usando a teoria das transições de fase, o

mais difícil problema da teoria quântica.

QUEBRA DE SIMETRIA

Transições de fase não são nenhuma novidade. Pense em nossas próprias vidas. Em seu livro *Passages*, Gail Sheehy salienta que a vida não é uma torrente contínua de experiências, como muitas vezes parece, mas passa de fato por vários estágios, caracterizados por conflitos específicos que devem ser resolvidos e metas que devem ser alcançadas.

O psicólogo Erik Erikson chegou a propor uma teoria dos estágios psicológicos de desenvolvimento. Um conflito fundamental caracteriza cada fase. Quando esse conflito é corretamente resolvido, passamos para a fase seguinte. Se esse conflito não é resolvido, ele pode corromper e até causar regressão a um período anterior. De mesma maneira, o psicólogo Jean Piaget mostrou que o desenvolvimento mental nos primeiros anos da infância não é tampouco um processo uniforme de aprendizado, mas é de fato tipificado por abruptos estágios na capacidade de conceituar da criança. Num mês uma criança pode desistir de procurar uma bola uma vez que ela saiu de sua vista, sem compreender que o objeto existe, ainda que ela já não o possa ver. No mês seguinte isso é óbvio para ela.

Essa é a essência da dialética. Segundo essa filosofia, todos os objetos (pessoas, gases, o próprio universo) atravessam uma série de estágios. Cada estágio é caracterizado por um conflito entre duas forças opostas. A natureza desse conflito, de fato, determina a natureza do estágio. Quando o conflito é resolvido, o objeto passa para um estágio mais elevado, chamado de síntese, onde uma nova contradição tem início, e o processo começa novamente num nível mais alto.

Os filósofos chamam isso de transição da "quantidade" para a "qualidade". Pequenas mudanças quantitativas acabam se estabelecendo até que há uma ruptura com o passado. Essa teoria se aplica também a sociedades. Tensões numa sociedade podem crescer enormemente, como ocorreu na França no fim do século XVIII. Os camponeses enfrentavam a fome, motins espontâneos por comida tiveram lugar, e a aristocracia retirou-se atrás dos muros de suas fortalezas. Quando as tensões atingiram o ponto de ruptura, ocorreu uma transição de fase do quantitativo para o qualitativo: os camponeses pegaram em armas, sitiaram Paris e tomaram a Bastilha.

Transições de fase podem também ser bastante explosivas. Por exemplo, pense num rio que foi represado. Um reservatório se enche rapidamente atrás da represa, com a água sob enorme pressão. Sendo instável, o reservatório é o falso vácuo. A água iria preferir estar em seu

verdadeiro vácuo, isto é, preferiria arrebentar a represa e seguir corrente abaixo, num estado de menor energia. Assim uma transição de fase envolveria o arrebentamento de uma represa, o que poderia ter consequências desastrosas.

Um exemplo ainda mais explosivo é uma bomba atômica. O falso vácuo corresponde aos núcleos estáveis de urânio. Embora o núcleo do urânio pareça estável, há, encarceradas dentro dele, energias enormes, explosivas, um milhão de vezes mais poderosas, quilo por quilo, que um explosivo químico. De vez em quando, o núcleo abre um túnel para um estado inferior, o que significa que se desintegra espontaneamente por si mesmo. Isso é chamado desintegração radioativa. No entanto, é possível, disparando nêutrons no núcleo do urânio, liberar essa energia reprimida de uma só vez. Isso, é claro, é uma explosão atômica.

A nova característica descoberta pelos cientistas sobre as transições de fase é que elas são geralmente acompanhadas por uma quebra de simetria. O prêmio Nobel Abdus Salam gosta da seguinte ilustração. Considere uma mesa de banquete circular, em que todos os convidados estão sentados com um copo de champanhe a seu lado. Há uma simetria aqui. Olhando para a mesa de banquete através de um espelho, vemos a mesma coisa: cada convidado sentado em torno da mesa, com um copo de champanhe de cada lado. De maneira similar, podemos girar a mesa circular de banquete, e o arranjo continuará o mesmo.

Agora quebre a simetria. Suponha que o primeiro conviva pegue o copo que está à sua direita. Por costume, todos os outros convivas pegam o copo de champanhe à sua direta. Observe que a imagem da mesa de banquete tal como vista pelo espelho produz a situação oposta. Cada comensal pegou o copo à sua esquerda. Assim a simetria esquerda-direita foi quebrada.

Outro exemplo de quebra de simetria vem de um antigo conto de fadas. Esse conto fala de uma princesa que está presa no alto de uma esfera de cristal polida. Embora não haja barras de ferro confinando-a na esfera, ela é uma prisioneira porque, se fizer o menor movimento, vai escorregar da esfera e se matar. Muitos príncipes tentaram salvar a princesa, mas nenhum foi capaz de fazer a escalada porque ela é lisa e escorregadia demais. Este é um exemplo de quebra de simetria. Enquanto está no alto da esfera, a princesa permanece num estado perfeitamente simétrico. Não há direção preferida na esfera. Podemos girá-la em qualquer ângulo e a situação será a mesma. Qualquer movimento em falso nas proximidades do centro, no entanto, fará a princesa cair, quebrando assim a simetria. Se ela cair para o oeste, por exemplo, a simetria da rotação será rompida. A direção oeste estará agora privilegiada.

Assim o estado de máxima simetria é com frequência também um estado instável, e por isso corresponde a um falso vácuo. O verdadeiro estado de vácuo corresponde à princesa

caindo da esfera. Portanto uma transição de fase (queda da esfera) corresponde a quebra de simetria (escolha da direção oeste).

Considerando a teoria das supercordas, os físicos supõem (mas ainda não podem provar) que o universo de dez dimensões original era instável e cavou um túnel para chegar a um universo de quatro e um de seis dimensões. Assim, o universo original estava no estado do falso vácuo, o estado de máxima simetria, ao passo que hoje nos encontramos no estado quebrado do verdadeiro vácuo.

Isto suscita uma questão perturbadora: que poderia acontecer se nosso universo não fosse na realidade o verdadeiro vácuo? Que aconteceria se a supercorda só tivesse escolhido nosso universo temporariamente, mas o verdadeiro vácuo estivesse situado entre os milhões de possíveis *orbifolds*? Isso teria consequências desastrosas. Em muitos outros *orbifolds*, descobrimos que o Modelo Padrão não está presente. Portanto, se o verdadeiro vácuo fosse realmente um estado em que o Modelo Padrão não está presente, todas as leis da química e da física, tais como as conhecemos, desmoronariam.

Se isso ocorresse, uma minúscula bolha poderia subitamente aparecer no nosso universo. Como o Modelo Padrão não mais vigoraria dentro dessa bolha, um conjunto diferente de leis químicas e físicas iria se aplicar. A matéria dentro da bolha iria se desintegrar e talvez se reformar de diferentes maneiras. Essa bolha então iria se expandir na velocidade da luz, devorando sistemas estelares, galáxias e aglomerados de galáxias, até que tivesse engolido todo o universo.

Nós nunca a veríamos chegando. Viajando na velocidade da luz, ela nunca poderia ser observada de antemão. Nunca saberíamos o que foi que nos atingiu.

DE CUBOS DE GELO A SUPERCORDAS

Considere um cubo de gelo comum dentro de uma panela de pressão em nossa cozinha. Todos sabemos o que vai acontecer se acendermos o fogo. Mas o que acontece a um cubo de gelo se o aquecermos a *trilhões e mais trilhões* de graus?

Se aquecermos o cubo de gelo no fogão, primeiro ele derrete e se transforma em água, isto é, sofre uma transição de fase. Agora vamos aquecer a água até que ela ferva. A água passa então por outra transição e se transforma em vapor. Agora continuemos a aquecer o vapor até temperaturas enormes. Por fim, as moléculas de água se rompem. A energia das moléculas excede sua energia de ligação, e elas são cindidas em hidrogênio e gás de oxigênio elementares.

Agora continuamos a aquecer até ultrapassar 3.000°K, até que os átomos de hidrogênio e oxigênio se rompam. Os elétrons são puxados para fora do núcleo e agora temos um plasma (um gás ionizado), com frequência chamado quarto estado da matéria (depois dos gases, líquidos e sólidos). Embora um plasma não seja parte da experiência comum, podemos vê-lo cada vez que olhamos para o Sol. E, de fato, plasma é o estado mais comum da matéria no universo.

Agora vamos continuar a aquecer o plasma no fogão até 1 bilhão °K, até que os núcleos de hidrogênio e oxigênio se rompam e tenhamos um "gás" de nêutrons e prótons individuais, semelhantes ao interior de uma estrela de nêutrons.

Se aquecermos o "gás" de núcleons ainda mais até atingir 10 trilhões °K, essas partículas vão se transformar em quarks dissociados. Temos agora um gás de quarks e léptons (os elétrons e os neutrinos).

Se aquecermos esse gás a 1 quatrilhão °K, a força eletromagnética e a força fraca vão se unir. A simetria SU(2) x U(1) vai emergir nessa temperatura. A 10^{28} °K, as forças eletrofracas e fortes se unem, e as simetrias GUT [SU(5), O(10), ou E(6)] aparecem.

Finalmente, à fabulosa temperatura de 10^{32} °K, a gravidade se une com a força GUT, e todas as simetrias da surpercorda de dez dimensões aparecem. Temos agora um gás de supercordas. Nesse ponto, tanta energia terá sido consumida na panela de pressão que a geometria do espaço-tempo pode muito bem começar a se distorcer e a dimensionalidade do espaço-tempo pode mudar. O espaço em torno da cozinha pode perfeitamente tornar-se instável, uma fenda pode se formar no tecido do espaço e um buraco de minhoca aparecer na cozinha. Nessa altura, seria talvez aconselhável sair da cozinha.

O ESFRIAMENTO DO BIG BANG

Assim, aquecendo um cubo de gelo comum a temperaturas fantásticas, podemos recuperar a supercorda. A lição aqui é que a matéria atravessa estágios definidos de desenvolvimento quando a aquecemos. Finalmente, uma simetria cada vez maior é restaurada à medida que aumentamos a energia.

Invertendo esse processo, podemos apreciar como o Big Bang ocorreu numa sequência de diferentes estágios. Em vez de aquecer um cubo de gelo, vamos agora resfriar a matéria superaquecida no universo através de diferentes estágios. Começando com o instante da Criação, temos os seguintes estágios na evolução de nosso universo:

10^{-43} segundos O universo de dez dimensões se rompe num universo de quatro e num de

seis dimensões. O universo hexadimensional se encolhe num tamanho de 10^{-32} centímetros. O universo quadridimensional infla rapidamente. A temperatura é 10^{32} °K.

10^{-35} segundos A força GUT se quebra; a força forte já não está unida com as interações eletrofracas. SU(3) se rompe da simetria GUT. Um pequeno grão no universo maior torna-se inflado por um fator de 10^{50}, acabando por se tornar nosso universo visível.

10^{-9} segundos A temperatura é agora 10^{15} °K e a simetria elotro-fraca se rompe em SU(2) e U(1).

10^{-3} segundos Quarks começam a se condensar em nêutrons e prótons. A temperatura é de aproximadamente 10^{14} °K

3 minutos Os prótons e nêutrons estão agora se condensando em núcleos estáveis. A energia das colisões aleatórias já não é poderosa o suficiente para romper o núcleo dos núcleos emergentes. O espaço ainda é opaco à luz porque os íons não transmitem luz bem.

300.000 anos Elétrons começam a se condensar em torno de núcleos. Átomos começam a se formar. Como a luz não é mais dispersa ou absorvida demais, o universo se torna transparente à luz. O espaço exterior se torna negro.

3 bilhões de anos Os primeiros quasares aparecem.

5 bilhões de anos As primeiras galáxias aparecem.

10 bilhões a 15 bilhões de anos Nasce o sistema solar. Alguns bilhões de anos depois, as primeiras formas de vida aparecem na Terra.

Parece quase incompreensível que nós, como macacos inteligentes no terceiro planeta de uma estrela insignificante numa galáxia insignificante, tenhamos sido capazes de reconstruir a história de nosso universo remontando quase ao instante de seu nascimento, quando a temperatura e a pressão excediam qualquer coisa jamais encontrada em nosso sistema solar. No entanto, a teoria quântica das interações fracas, eletromagnéticas e fortes nos revela esse quadro.

Por sensacional que essa representação da Criação seja, talvez ainda mais estranho seja a possibilidade de que buracos de minhoca possam servir como passagens para outro universo, e talvez até como máquinas do tempo rumo ao passado e ao futuro. Armados com uma teoria quântica da gravidade, os físicos podem ser capazes de responder a intrigantes perguntas: Existem universos paralelos? O passado pode ser mudado?

PARTE III

Buracos de minhoca: passagens para outro universo?

10

Buracos negros e universos paralelos

Escuta, há um diabo de um universo na casa ao lado: vamos dar no pé!
e.e. cummings

BURACOS NEGROS: TÚNEIS ATRAVÉS DO ESPAÇO-TEMPO

Ultimamente os buracos negros conquistaram a imaginação do público. Livros e documentários foram dedicados à exploração dessa estranha previsão das equações de Einstein, o estágio final na morte de uma estrela em colapso. Ironicamente, grande parte do público não tem conhecimento do que é talvez o traço mais peculiar dos buracos negros: eles podem ser *passagens para um universo alternativo*. Ademais, há também intensa especulação na comunidade científica sobre a possibilidade de um buraco negro abrir um túnel no tempo.

Para compreender os buracos negros e como é difícil encontrá-los, devemos compreender primeiro o que faz as estrelas brilharem, como crescem e como finalmente morrem. Uma estrela nasce quando uma imensa nuvem de gás hidrogênio várias vezes do tamanho de nosso sistema solar é lentamente comprimida pela força da gravidade. A força gravitacional que comprime o gás vai aquecendo-o gradualmente, à medida que a energia gravitacional é convertida na energia cinética dos átomos de hidrogênio. Normalmente, a carga repulsiva dos prótons no interior do gás hidrogênio é suficiente para mantê-los separados. Num certo ponto, porém, quando a temperatura se eleva de 10 milhões a 100 milhões °K, a energia cinética dos prótons (que são núcleos de hidrogênio) supera sua repulsão eletrostática, e eles se chocam uns com os outros. A força nuclear passa então a predominar sobre a força eletromagnética, e os dois núcleos de hidrogênio se "fundem" em hélio, liberando vasta quantidade de energia.

Em outras palavras, uma estrela é uma fornalha nuclear, que queima hidrogênio como combustível e cria "cinza" nuclear na forma de hélio refugado. Uma estrela é também um delicado ato de equilíbrio entre a força da gravidade, que tende a esmagar por completo a estrela, e a força nuclear, que tende a dispersá-la com a força de trilhões de bombas de hidrogênio. Portanto uma estrela amadurece e envelhece à medida que esgota seu combustível nuclear.

Para ver como a energia é extraída do processo de fusão e para compreender os estágios na vida de uma estrela que conduzem a um buraco negro, devemos analisar a Figura 10.1, que mostra uma das mais importantes curvas na ciência moderna, por vezes chamada de *curva de*

energia de ligação. Na escala horizontal está o peso atômico dos vários elementos, do hidrogênio ao urânio. Na escala vertical, grosseiramente falando, está o "peso" médio aproximado de cada próton no núcleo. Observe que o hidrogênio e o urânio têm prótons que pesam, em média, mais do que os prótons dos outros elementos no centro do diagrama.

Nosso Sol é uma estrela amarela comum, que consiste sobretudo em hidrogênio. Como o Big Bang original, ela funde hidrogênio e forma hélio. No entanto, como os prótons no hidrogênio pesam mais que os prótons no hélio, há um excesso de massa, o qual é convertido em energia através da fórmula de Einstein, $E = mc^2$. Essa é a energia que mantém os núcleos coesos. Essa é também a energia liberada quando hidrogênio se funde com hélio. É por isso que o Sol brilha.

No entanto, como o hidrogênio vai sendo lentamente esgotado ao longo de bilhões de anos, uma estrela amarela acaba por acumular um excesso grande demais de hélio refugado, e sua fornalha nuclear para de produzir. Quando isso acontece, a gravidade acaba por assumir o controle e esmaga a estrela. As temperaturas se elevam com imensa rapidez, a estrela logo se torna quente o suficiente para queimar o hélio residual e convertê-lo em outros elementos, como lítio e carbono. Observe que a energia continua podendo ser liberada à medida que descemos a curva para os elementos mais elevados. Em outras palavras, ainda é possível queimar hélio refugado (da mesma maneira como se pode queimar cinza comum em certas condições). Embora a estrela tenha decrescido enormemente de tamanho, sua temperatura é bastante elevada, e sua atmosfera se expande imensamente em tamanho. De fato, quando nosso Sol exaurir seu suprimento de hidrogênio e começar a queimar hélio, sua atmosfera pode ultrapassar a órbita de Marte. É a isso que se dá o nome de *gigante vermelha*. Isso significa, é claro, que a Terra será vaporizada no processo. Assim a curva prevê também o destino final da Terra. Como o Sol é uma estrela de meia-idade, com cerca de 5 bilhões de anos, ainda restam cerca de 5 bilhões de anos antes que ela consuma a Terra. (Ironicamente, a Terra nasceu originalmente da mesma nuvem turbilhonante de gás que criou o nosso sol. Os físicos preveem hoje que a Terra, que foi criada com o Sol, vai retornar ao Sol.)



Figura 10.1. O "peso" médio de cada próton dos elementos mais leves, como hidrogênio e hélio, é relativamente grande. Assim, se fundirmos hidrogênio para formar hélio no interior de uma estrela, teremos um excesso de massa que é convertido em energia através da equação de Einstein $E = mc^2$. *Essa é a energia que ilumina as estrelas. Mas à medida que as estrelas fundem elementos cada vez mais pesados, vão acabar chegando ao ferro, e não podemos extrair mais nenhuma energia. Então a estrela colapsa e o imenso calor do colapso cria uma supernova. A colossal explosão despedaça a estrela e semeia o espaço interestelar, em que novas estrelas são formadas. O processo começa então todo de novo, como uma máquina de fliperama.*

Finalmente, quando o hélio está esgotado, a fornalha nuclear mais uma vez cessa de funcionar, e a gravidade assume o comando para esmagar a estrela. A gigante vermelha se encolhe para se converter numa *anã branca*, uma miniatura de estrela com a massa de uma estrela inteira espremida em cerca do tamanho do planeta Terra.[1] As anãs brancas não são muito luminosas porque, após descer ao ponto baixo da curva, sobra apenas um pequeno excesso de energia que se pode espremer através de $E = mc^2$. A anã branca queima o pouco que sobra no ponto baixo da curva.

Nosso sol irá um dia se transformar numa anã branca, ao longo de bilhões de anos, morrerá lentamente à medida que esgotar seu combustível nuclear. Terminará por se tornar uma estrela anã, queimada, escura. No entanto, acredita-se que se uma estrela tiver massa suficiente (várias vezes a massa do nosso sol), nesse caso a maior parte dos elementos na estrela anã vai continuar a se fundir em elementos cada vez mais pesados, chegando por fim ao ferro. Uma vez que atinjamos o ferro, estamos perto do ponto verdadeiramente mais baixo da curva. Não

podemos mais extrair energia nenhuma da massa em excesso, e assim a fornalha nuclear cessa de funcionar. A gravidade mais uma vez assume o domínio, esmagando a estrela até que as temperaturas se elevem explosivamente milhares de vezes, atingindo trilhões de graus. Nesse ponto, o núcleo de ferro desmorona e a camada externa da anã branca explode, liberando o maior estouro de energia conhecido na galáxia, uma estrela em explosão chamada de *supernova*. Uma única supernova é capaz de, durante algum tempo, brilhar mais que uma galáxia inteira de 100 bilhões de estrelas.

Na esteira da formação de uma supernova, encontramos uma estrela totalmente morta, uma estrela de nêutrons mais ou menos do tamanho de Manhattan. As densidades numa estrela de nêutrons são tão grandes que, grosseiramente falando, todos os nêutrons estão se "tocando" uns aos outros. Embora as estrelas de nêutrons sejam quase invisíveis, somos capazes de detectá-las com nossos instrumentos. Como emitem radiação enquanto rotacionam, atuam como uma espécie de farol cósmico no espaço exterior. Nós as vemos como uma estrela que pisca, ou *pulsar*. (Embora essa descrição lembre ficção científica, bem mais de quatrocentos pulsares já foram observados desde a sua descoberta em 1967.)

Cálculos de computador mostraram que a maioria dos elementos pesados além do ferro pode ser sintetizada no calor e pressão de uma supernova. Quando explode, a estrela libera vastas quantidades de escombros estelares, consistindo nos elementos mais elevados, no vácuo do espaço. Esse escombro acaba por se misturar com outros gases, até que se acumula gás hidrogênio suficiente para dar início ao processo de contração gravitacional outra vez. Estrelas de segunda geração que nascem desse gás e poeira estelares contêm grande abundância de elementos pesados. Algumas dessas estrelas (como o nosso sol) terão planetas à sua volta que também conterão esses elementos pesados.

Isso decifra um antigo mistério na cosmologia. Nossos corpos são feitos de elementos pesados além do ferro, mas nosso sol não é quente o bastante para forjá-los. Se a Terra e os átomos de nossos corpos foram originalmente a mesma nuvem de gás, então de onde vieram os elementos pesados de nosso corpo? A conclusão é inescapável: os elementos pesados de nosso corpo foram sintetizados numa supernova que explodiu *antes* que nosso sol fosse criado. Em outras palavras, uma supernova sem nome explodiu bilhões de anos atrás, semeando a nuvem de gás original que criou o sistema solar.

A evolução de uma estrela pode ser grosseiramente representada como uma máquina de fliperama, como na Figura 10.1, com a forma da curva da energia de ligação. A bola começa em cima e salta do hidrogênio para o hélio, dos elementos mais leves para os mais pesados. Cada vez que ela salta ao longo da curva, torna-se um tipo diferente de estrela. Finalmente, a

bola salta para o ponto mais baixo da curva, onde pousa no ferro, e é ejetada explosivamente numa supernova. Depois, à medida que esse material estelar é outra vez reunido numa nova estrela rica em hidrogênio, o processo todo recomeça no fliperama.

Observe, no entanto, que há dois meios para a bola quicar pela curva. Ela pode também começar do outro lado da curva, no urânio, e descer a curva num único salto, fissionando o núcleo de urânio em fragmentos. Como o peso médio dos prótons em produtos de fissão, como o césio e o crípton, é menor que o peso médio dos prótons no urânio, a massa em excesso foi convertida em energia via $E = mc^2$. Esta é a fonte da energia por trás da bomba atômica.

Assim a curva de energia de ligação não só explica o nascimento e morte de estrelas e a criação dos elementos, mas torna também possível a existência de bombas de hidrogênio e atômicas! (Pergunta-se frequentemente aos cientistas se seria possível desenvolver bombas nucleares além da atômica e da de hidrogênio. A partir da curva de energia de ligação, podemos ver que a resposta é não. Observe que a curva exclui a possibilidade de bombas feitas de oxigênio ou de ferro. Esses elementos estão perto do ponto mais baixo da curva, de modo que não há excesso de massa suficiente para criar uma bomba. As várias bombas mencionadas na imprensa, como bombas de nêutrons, não passam de variações das bombas de urânio e hidrogênio.)

Quando ouvimos pela primeira vez a história das estrelas, podemos ficar um tanto céticos. Afinal, ninguém até hoje viveu 10 bilhões de anos para testemunhar sua evolução. No entanto, uma vez que há incontáveis estrelas no céu, é uma simples questão de ver estrelas em praticamente todos os estágios de sua evolução. (Por exemplo, a supernova de 1987, que foi visível a olho nu no hemisfério sul, forneceu um tesouro de dados astronômicos que correspondeu às previsões teóricas para uma anã com núcleo de ferro em colapso. Além disso, a espetacular supernova observada pelos antigos astrônomos chineses no dia 4 de julho de 1054 deixou atrás de si um remanescente que foi agora identificado como uma estrela de nêutrons.)

Ademais, nossos programas de computador se tornaram tão precisos que podemos basicamente prever a sequência da evolução estelar numericamente. Uma vez dividi um apartamento na pós-graduação com um estudante de especialização em astronomia. Ele costumava desaparecer invariavelmente no começo da manhã e voltar tarde da noite. Pouco antes de sair, ele dizia que estava pondo uma estrela no forno para vê-la crescer. De início, pensei que dizia aquilo por brincadeira. Quando o pressionei sobre a questão, porém, ele disse com toda a seriedade que estava pondo uma estrela no computador e observando sua evolução durante o dia. Como as equações termodinâmicas e as equações de fusão eram bem

conhecidas, tratava-se simplesmente de dizer ao computador para começar com certa massa de hidrogênio e depois deixá-lo resolver numericamente a evolução desse gás. Dessa maneira, podemos verificar que nossa teoria da evolução estelar é capaz de produzir os estágios conhecidos da vida das estrelas que vemos no céu com nossos telescópios.

BURACOS NEGROS

Se uma estrela tem entre dez e cinquenta vezes o tamanho do nosso sol, a gravidade continuará a esmagá-la mesmo depois que ela se tornar uma estrela de nêutrons. Sem a força de fusão para repelir a atração gravitacional, não há nada para se opor ao colapso final dessa estrela. Nesse ponto, ela se converte no famoso buraco negro.

Em certo sentido, buracos negros precisam existir. Uma estrela, como nos lembramos, é o subproduto de duas forças cósmicas: a gravidade, que tenta esmagá-la, e a fusão, que tenta explodi-la como uma bomba de hidrogênio. Todas as várias fases na história de vida de uma estrela são consequência desse delicado ato de equilíbrio entre gravidade e fusão. Mais cedo ou mais tarde, quando todo o combustível nuclear numa estrela de alta massa está finalmente esgotado e ela é uma massa puramente de nêutrons, não há nada conhecido que possa resistir então à poderosa força da gravidade. No fim das contas, a força gravitacional vai sobrepujar e esmagar a estrela de nêutrons reduzindo-a a nada. A estrela descreveu seu círculo completo: nasceu quando a gravidade começou a comprimir gás hidrogênio no céu formando uma estrela, e vai morrer quando o combustível nuclear estiver exaurido e a gravidade desmoroná-la.

A densidade de um buraco negro é tão grande que a luz, tal como um foguete lançado da Terra, será obrigada a orbitar em torno dele. Como nenhuma luz pode escapar do enorme campo gravitacional, a estrela colapsada adquire uma cor preta. De fato, esta é a definição comum de um buraco negro: uma estrela colapsada da qual nenhuma luz pode escapar.

Para compreender isso, notemos que todos os corpos celestes têm o que é chamado de *velocidade de escape*. Essa é a velocidade necessária para se pôr a salvo permanentemente da atração gravitacional exercida por esse corpo. Por exemplo, uma sonda espacial precisa atingir uma *velocidade de escape* de 40.000 quilômetros por hora para deixar a atração gravitacional da Terra e seguir para o espaço profundo. Nossas sondas espaciais, como a *Voyager*, que se aventuraram no espaço profundo e abandonaram por completo o sistema solar (levando mensagens de boa vontade para qualquer extraterrestre que porventura as encontrasse) atingiram a velocidade de escape de nosso sol. (Se respiramos oxigênio, isso acontece porque os átomos de oxigênio não têm velocidade para escapar ao campo

gravitacional da Terra. Se Júpiter e os outros gigantes de gás são feitos sobretudo de hidrogênio, isso ocorre porque sua velocidade de escape é grande o suficiente para capturar o hidrogênio primordial do sistema solar primevo. Assim, a velocidade de escape ajuda a explicar a evolução dos planetas de nosso sistema solar ao longo dos últimos 5 bilhões de anos.)

A teoria da gravidade de Newton, de fato, fornece a relação precisa entre a velocidade de escape e a massa da estrela. Quanto mais pesado o planeta ou a estrela e menor o seu raio, maior é a velocidade de escape necessária para se escapar à sua atração gravitacional. Já em 1783, o astrônomo inglês John Michell usou esse cálculo para propor que uma estrela de massa superalta poderia ter uma velocidade de escape igual à velocidade da luz. A luz emitida por uma estrela de tão alta massa nunca poderia escapar, ficaria orbitando em torno dela. Assim, para um observador de fora, a estrela pareceria totalmente negra. Usando o melhor conhecimento disponível em sua época, o século XVIII, Michell realmente calculou a massa de um desses buracos negros.[n] Lamentavelmente, sua teoria foi considerada maluca e logo esquecida. Hoje, no entanto, tendemos a acreditar que os buracos negros existem porque nossos telescópios e instrumentos viram anãs brancas e estrelas de nêutrons no céu.

Há duas maneiras de explicar por que os buracos negros são negros. Do ponto de vista prosaico, a "força" entre a estrela e o feixe de luz é tão grande que sua trajetória é curvada num círculo. Ou podemos adotar o ponto de vista einsteiniano, caso em que "a distância mais curta entre dois pontos é uma linha curva". Curvar o feixe de luz num círculo completo significa curvar o próprio espaço num círculo completo. Isso só pode acontecer se o buraco negro tiver aprisionado um pedaço do espaço-tempo com ele, de modo que o feixe de luz está circulando numa hiperesfera. Esse pedaço de espaço-tempo está agora desconectado do espaço-tempo à sua volta. O próprio espaço está agora "esgarçado".

A PONTE EINSTEIN-ROSEN

A descrição relativística dos buracos negros vem do trabalho de Karl Schwarzschild. Em 1916, mal passados alguns meses depois que Einstein formulou sua célebre equação, Schwarzschild foi capaz de resolver as equações de Einstein exatamente e de calcular o campo gravitacional de uma estrela de alta massa, estacionária.

A solução de Schwarzschild tem várias características interessantes. Primeiro, um "ponto sem volta" envolve o buraco negro. Todo objeto que se aproxime além desse raio será inevitavelmente tragado pelo buraco negro, sem nenhuma possibilidade de escapar.

Inexoravelmente, toda pessoa desgraçada o bastante para entrar no raio de Schwarzschild seria capturada pelo buraco negro e esmagada até a morte. Hoje, essa distância do buraco negro é chamada *raio de Schwarzschild*, ou horizonte (o ponto visível mais longínquo).

Segundo, toda pessoa que caísse no raio de Schwarzschild perceberia um "universo especular", do "outro lado" do espaço-tempo (Figura 10.2). Einstein não se inquietava com a existência desse bizarro universo especular porque a comunicação com ele era impossível. Qualquer sonda espacial enviada para o centro de um buraco negro iria encontrar uma curvatura infinita, isto é, o campo gravitacional seria infinito, e qualquer objeto material seria esmagado. Os elétrons seriam arrancados dos átomos, e até os prótons e nêutrons no interior dos próprios núcleos seriam despedaçados. Além disso, para penetrar no universo alternativo a sonda teria de seguir numa velocidade maior que a da luz, o que não é possível. Assim, embora esse universo especular seja matematicamente necessário para dar sentido à solução de Schwarzschild, ele jamais poderia ser fisicamente observado.

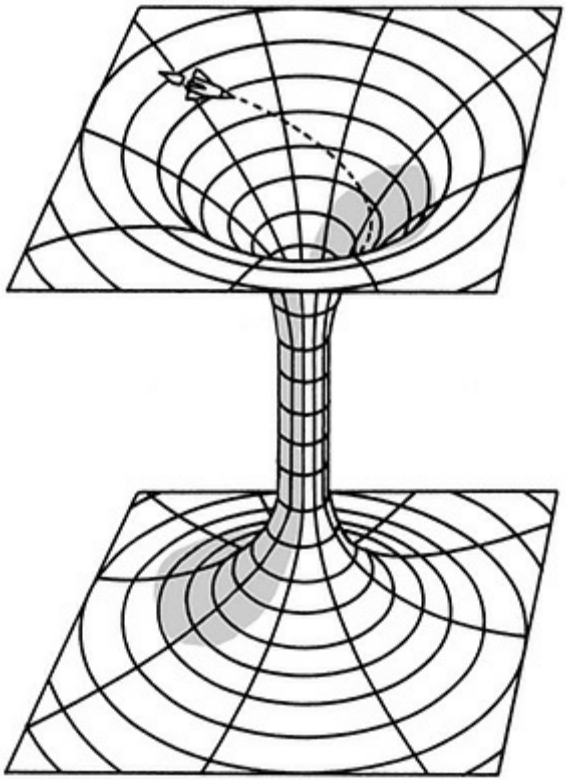


Figura 10.2. A ponte de Einstein-Rosen conecta dois universos diferentes. Einstein acreditava que todo foguete que entrasse na ponte seria esmagado, tornando assim a comunicação entre esses dois universos impossível. No entanto, cálculos mais recentes mostram que a viagem através da ponte poderia ser difícil, mas talvez seja possível.

Consequentemente, a *ponte Einstein-Rosen* que conectaria esses dois universos (batizada em homenagem a Einstein e a seu colaborador, Nathan Rosen) foi considerada um artifício matemático. A ponte era necessária para se ter uma teoria matematicamente coerente do

buraco negro, mas era impossível atingir o universo especular viajando através dela. Logo se encontraram outras pontes de Einstein-Rosen em outras soluções das equações gravitacionais, como a solução de Reissner-Nordstrom que descrevia um buraco negro eletricamente carregado. No entanto, a ponte de Einstein-Rosen continuou como uma curiosa mas esquecida nota de rodapé no conhecimento da relatividade.

As coisas começaram a mudar com o trabalho de um matemático neozelandês, Roy Kerr, que em 1963 encontrou outra solução exata para as equações de Einstein. Kerr supôs que toda estrela em colapso estaria rotacionando. Como um patinador que gira e ganha maior velocidade quando recolhe as mãos, uma estrela giratória iria necessariamente se acelerar quando seu colapso se iniciasse. Assim, a solução estacionária de Schwarzschild para um buraco negro não era a solução fisicamente mais relevante das equações de Einstein.

A solução de Kerr criou sensação no mundo da relatividade quando foi proposta. O astrofísico Subrahmanyan Chandrasekhar disse uma vez:

> Em toda a minha vida científica, que se estendeu por mais de 45 anos, a experiência de maior impacto foi a compreensão de que uma solução exata das equações da relatividade geral de Einstein, descoberta pelo matemático neozelandês Roy Kerr, fornece a *representação absolutamente exata* de incontáveis números de buracos negros de alta massa que povoam o universo. Esse "estremecimento diante do belo", esse incrível fato de que uma descoberta motivada pela busca na beleza na matemática venha a encontrar sua réplica na natureza, induz-me a dizer que a beleza é aquilo a que a mente humana responde em seu mais recôndito e mais profundo nível.[3]

Kerr descobriu, no entanto, que uma estrela de alta massa em rotação não colapsa até se tornar um ponto. Em vez disso, a estrela giratória se achata até ser finalmente comprimida num anel, que tem interessantes propriedades. Se uma sonda fosse disparada para o anel de lado, ela colidiria com ele e seria totalmente destruída. A curvatura espaço-tempo ainda continua infinita quando a aproximação do anel se dá pelo lado. Ainda há um "anel da morte", por assim dizer, cercando o centro. No entanto, se uma sonda espacial fosse lançada sobre o anel de cima para baixo, ela iria experimentar uma curvatura grande, mas finita; isto é, a força gravitacional não seria infinita.

Essa conclusão bastante surpreendente da solução de Kerr significa que qualquer sonda espacial lançada através de um buraco negro giratório ao longo de seu eixo de rotação poderia, em princípio, sobreviver aos campos gravitacionais enormes mas finitos no centro e seguir direto através do universo especular sem ser destruída pela curvatura infinita. A ponte de Einstein-Rosen atua como um túnel que conecta duas regiões de espaço-tempo; é um buraco de minhoca. Assim, o buraco negro de Kerr é uma passagem para outro universo.

Agora imagine que seu foguete entrou na ponte Einstein-Rosen. À medida que ele se

aproxima do buraco negro giratório, ele vê uma estrela em forma de anel girando. À primeira vista, parece que o foguete está fadado a uma desastrosa aterrissagem ao descer em direção ao buraco negro vindo do polo norte. No entanto, à medida que nos aproximamos do anel, luz vinda do universo especular atinge nossos sensores. Como toda a radiação eletromagnética, inclusive radar, orbita o buraco negro, nossas telas de radar estão detectando sinais que estiveram circulando muitas vezes em torno do buraco negro. O efeito se assemelha ao de um salão de espelhos, em que somos iludidos pelas múltiplas imagens que nos cercam. A luz segue ricocheteando pelos numerosos espelhos, gerando a ilusão de que há numerosas cópias de nós mesmos no salão.

O mesmo efeito ocorre quando passamos através do buraco negro de Kerr. Como o mesmo feixe de luz orbita o buraco negro numerosas vezes, o radar de nosso foguete detecta imagens que estiveram girando em torno do buraco negro, criando a ilusão de objetos que não estão realmente ali.

FATOR DE EMPENAMENTO 5

Significa isto que buracos negros podem ser usados para viagem através da galáxia, como em *Jornada nas estrelas* e outros filmes de ficção científica?

Como vimos antes, a curvatura num certo espaço é determinada pela quantidade de matéria contida naquele espaço (princípio de Mach). A famosa equação de Einstein nos fornece o grau preciso de curvatura do espaço-tempo causada pela presença de matéria-energia contida.

Quando o Capitão Kirk nos conduz voando pelo hiperespaço no "fator de empenamento 5", os "cristais de dilítio" que energizam a *Enterprise* podem realizar feitos miraculosos de empenamento do espaço e tempo. Isso significa que os cristais de dilítio têm o poder mágico de curvar o espaço-tempo em forma de rosquinhas; isto é, eles são imensos depósitos de matéria e energia.

Se a *Enterprise* viaja da Terra para a estrela mais próxima, ela não se move fisicamente rumo a Alfa Centauro – em vez disso, Alfa Centauro vai até a *Enterprise*. Imagine-se sentado num tapete e laçando uma mesa a alguns metros de distância. Se formos fortes o bastante e o piso polido o bastante, conseguimos puxar o laço até que o tapete comece a fazer dobras debaixo de nós. Se puxamos com força suficiente, a mesa começa a vir na nossa direção, e a "distância" entre a mesa e nós desaparece numa massa de tapete enrugado. Então nós simplesmente saltamos por sobre esse "empenamento de tapete". Em outras palavras: nós mal nos movemos; o espaço entre nós e a mesa se contraiu e nós simplesmente demos um passo

transpondo a distância contraída. Da mesma maneira, a *Enterprise* não cruza realmente todo o espaço até Alfa Centauro; ela simplesmente se move pelo espaço-tempo esboroado – através de um buraco de minhoca. Para melhor compreender o que acontece quando se cai na ponte Einstein-Rosen, vamos discutir a topologia dos buracos de minhoca.

Para visualizar esses espaços multiplamente conectados, imagine que estamos andando pela Quinta Avenida em Nova York numa tarde ensolarada, pensando em nossos assuntos, quando uma estranha janela flutuante se abre à nossa frente, de modo muito parecido com o espelho de Alice. (Vamos ignorar por enquanto que a energia necessária para abrir essa janela poderia ser suficiente para despedaçar a Terra. Este é um exemplo puramente teórico.)

Damos um passo em direção à janela flutuante para vê-la melhor e ficamos horrorizados ao nos ver frente a frente com a cabeça de um *Tyrannosaurus rex* com cara de poucos amigos. Estamos prestes a correr para salvar nossas vidas quando percebemos que o tiranossauro não tem corpo. Não pode nos ferir porque todo o seu corpo está claramente do outro lado da janela. Quando olhamos para baixo da janela para ver o corpo do dinossauro, podemos ver toda a rua, como se o dinossauro e a janela não estivessem lá em absoluto. Perplexos, contornamos a janela lentamente e ficamos aliviados ao verificar que o tiranossauro não está em lugar nenhum. No entanto, quando espiamos pela janela pelo lado do fundo, vemos a cabeça de um brontossauro nos encarando (Figura 10.3)!

Atemorizados, fazemos a volta da janela mais uma vez, olhando para a janela com o canto dos olhos. Para nossa grande surpresa, todos os vestígios da janela, do tiranossauro e do brontossauro sumiram. Agora damos mais algumas voltas em torno da janela flutuante. De uma direção, vemos a cabeça do tiranossauro. Da outra, vemos a cabeça do brontossauro. E quando olhamos de lado, descobrimos que tanto o espelho quanto os dinossauros desapareceram.

Que está acontecendo?

Em algum universo distante, o tiranossauro e o brontossauro se enfrentaram numa confrontação de vida e de morte. Quando olham um para o outro, uma janela flutuante subitamente aparece entre eles. Quando o tiranossauro examina a janela flutuante, fica pasmo ao ver a cabeça de um mamífero insignificante e magricela, com o cabelo encaracolado e um rosto minúsculo: um ser humano. A cara é claramente visível, mas ele não tem corpo. No entanto, quando olha para a mesma janela a partir da outra direção, o brontossauro vê a Quinta Avenida, com suas lojas e seu tráfego. Então o tiranossauro descobre que aquela criatura na janela desapareceu, só para aparecer do outro lado dela, de cara para o brontossauro.

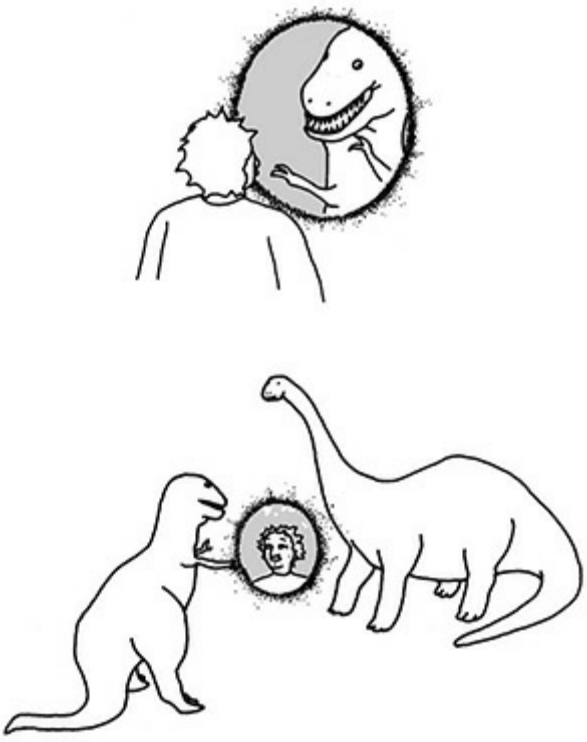


Figura 10.3. Neste exemplo puramente hipotético, uma "janela" ou buraco de minhoca abriu-se em nosso universo. Se olharmos pela janela de uma direção, vemos um dinossauro. Se olharmos pelo outro lado da janela, vemos um outro dinossauro. Tal como vista do outro universo, uma janela se abriu entre os dois dinossauros. Dentro da janela, os dinossauros veem um estranho animal (nós).

Agora digamos que de repente o vento joga nosso chapéu para dentro da janela. Vemos o chapéu flutuando em direção ao céu do outro universo, mas não conseguimos vê-lo em lugar algum da Quinta Avenida. Engolimos em seco e em seguida, em desespero, esticamos a mão para agarrar nosso chapéu. Na visão do tiranossauro, um chapéu aparece no vento, surgido do nada. Depois ele vê uma mão sem corpo se esticando em direção à janela, tentando desesperadamente agarrar o chapéu.

O vento agora muda de direção, e o chapéu é carregado na outra direção. Esticamos a outra mão em direção à janela, mas pelo outro lado. Agora estamos numa posição incômoda. Ambas as nossas mãos estão esticadas em direção à janela, mas de lados diferentes. Mas não conseguimos ver nossos dedos. A impressão que temos é antes a de que ambas as nossas mãos desapareceram.

Como isso aparece para os dinossauros: eles veem duas minúsculas mãos voando, pendentes da janela, dos dois lados. Mas não há corpo (Figura 10.4).

Este exemplo ilustra algumas das deliciosas distorções do espaço e tempo que se pode inventar com espaços multiplamente conectados.

Parece incrível que uma ideia tão simples – a de que dimensões mais elevadas podem unificar o espaço, e de que uma "força" pode ser explicada pelo empenamento do espaço-tempo – leve a uma diversidade tão rica de consequências físicas. No entanto, com o buraco de minhoca e os espaços multiplamente conectados, estamos investigando os próprios limites da teoria da relatividade geral de Einstein. De fato, a quantidade de matéria-energia necessária para criar um buraco de minhoca ou uma passagem dimensional é tão grande que podemos esperar que efeitos quânticos dominem. Correções quânticas, por sua vez, podem na verdade fechar a abertura do buraco de minhoca, tornando a viagem pela passagem impossível.

Como nem a teoria quântica nem a relatividade são poderosas o bastante para resolver esta questão, vamos ter de esperar até que a teoria de dez dimensões esteja completa para decidir se esses buracos de minhoca são fisicamente relevantes ou apenas mais uma ideia maluca. No entanto, antes de discutirmos a questão das correções quânticas e da teoria de dez dimensões, vamos fazer uma pausa e considerar talvez a mais esquisita consequência dos buracos de minhoca. Assim como os físicos podem mostrar que os buracos de minhoca permitem espaços mutiplamente conectados, podemos mostrar que eles permitem igualmente a viagem no tempo.

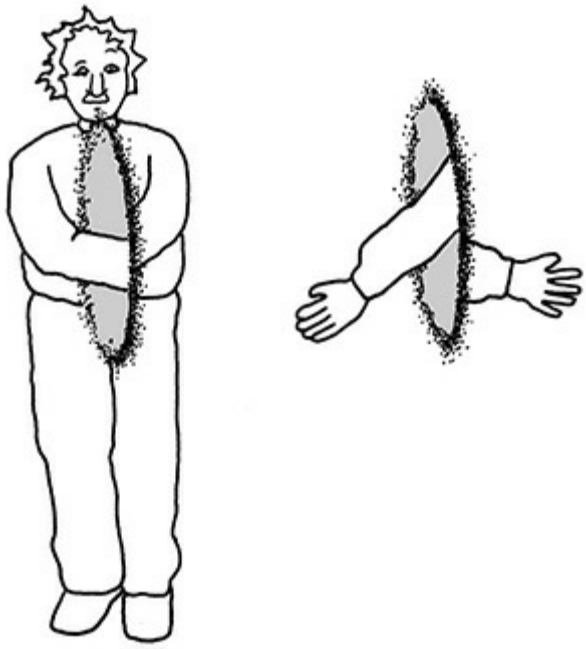


Figura 10.4. Se enfiamos nossas mãos na janela a partir de duas direções, nossa impressão é de que nossas mãos terão desaparecido. Temos um corpo, mas não mãos. No universo alternativo, duas mãos emergiram uma de cada lado da janela, mas elas não estão vinculadas a um corpo.

Vamos agora considerar talvez a mais fascinante e especulativa consequência de universos multiplamente conectados: a construção de uma máquina do tempo.

---

n. Nos *Philosophical Transactions of the Royal Society*, ele escreveu: "Se o semidiâmetro de uma esfera da mesma densidade que o Sol viesse a exceder o do Sol na proporção de 500 para 1, um corpo caindo de uma altura infinita em direção a

ele teria adquirido em sua superfície uma velocidade maior que a da luz, e, consequentemente, supondo-se que a luz seja atraída pela mesma força em proporção com sua *vis inertiae* com outros corpos, toda luz emitida a partir de tal corpo seria forçada a retornar a ele por sua própria gravidade."[2]

11

Para construir uma máquina do tempo

Pessoas como nós, que acreditam em física, sabem que a distinção entre passado, presente e futuro não passa de uma ilusão teimosamente persistente.
Albert Einstein

VIAGEM NO TEMPO

Podemos viajar para trás no tempo?

Como o protagonista de H. G. Wells em *A máquina do tempo*, podemos girar o botão de uma máquina e transpor centenas de milhares de anos para o ano 802701? Ou, como Michael J. Fox, podemos saltar em nossos carros movidos a plutônio e voltar para o futuro?

A possibilidade da viagem no tempo abre um vasto mundo de possibilidades interessantes. Como Kathleen Turner em *Peggy Sue*, todos alimentam um desejo secreto de reviver de algum modo o passado e corrigir algum erro pequeno mas vital da própria vida. No poema de Robert Frost, "The Road Not Taken", ficamos pensando o que poderia ter acontecido se, nas ocasiões-chave de nossas vidas, tivéssemos feito escolhas diferentes e tomado outro caminho. Com a viagem no tempo, poderíamos retornar às nossas juventudes e apagar eventos embaraçosos de nosso passado, escolher um companheiro diferente, ou ingressar em carreiras diferentes; poderíamos até mudar o desfecho dos principais eventos históricos e alterar o destino da humanidade.

Por exemplo, no clímax de *Super-homem*, nosso herói fica emocionalmente arrasado quando um terremoto devasta a maior parte da Califórnia e esmaga sua amada sob centenas de toneladas de pedras e entulho. Pranteando sua horrível morte, ele fica tão tomado pela angústia que sobe ao espaço como um foguete e viola seu juramento de não se intrometer no curso da história humana. Aumenta sua velocidade até que estilhaça a barreira da luz, rebentando o tecido do espaço e tempo. Viajando na velocidade da luz, ele força o tempo a ficar mais lento, e finalmente a caminhar para trás, para um momento antes que Lois Lane tivesse morrido esmagada.

Esse truque, no entanto, é obviamente impossível. Embora o tempo fique mais lento quando você aumenta sua velocidade, você não pode se deslocar numa velocidade maior que a da luz (e assim fazer o tempo retroceder) porque a relatividade especial declara que sua massa se tornaria infinita no processo. Assim, o método da viagem mais rápida que a luz, preferido pela maioria dos autores de ficção científica, contradiz a teoria especial da relatividade.

O próprio Einstein tinha plena consciência dessa impossibilidade, como também A. H. R. Buller quando publicou o seguinte poema humorístico em *Punch*:

> There was a young lady girl named Bright,
> Whose speed was far faster than light,
> So traveled one day,
> In a relative way,
> And returned on the previous night.[o]

A maior parte dos cientistas, que não estudou seriamente as equações de Einstein, desconsidera a viagem no tempo como conversa fiada, com tanta validade quanto relatos sinistros de sequestros praticados por extraterrestres. No entanto, a situação é na verdade bastante complexa.

Para resolver a questão, temos de abandonar a teoria especial da relatividade, mais simples, que proíbe a viagem no tempo, e abraçar o pleno poder da teoria *geral* da relatividade, que pode permiti-la. A relatividade geral tem uma validade muito mais ampla que a relatividade especial. Enquanto a relatividade especial descreve apenas objetos que se movem numa velocidade constante a grande distância de qualquer estrela, a teoria geral da relatividade é muito mais poderosa, capaz de descrever foguetes que aceleram junto a estrelas de massa superalta e a buracos negros. Assim, a teoria geral suplanta algumas das conclusões mais simples da teoria especial. Para todo físico que tenha analisado seriamente a matemática da viagem no tempo na teoria geral da relatividade de Einstein, a conclusão final fica, de modo bastante surpreendente, longe de ser clara.

Proponentes da viagem no tempo assinalam que as equações de Einstein para a relatividade geral admitem certas formas de viagem no tempo. Eles admitem, contudo, que as energias necessárias para torcer o tempo num círculo são tão fabulosas que as equações de Einstein não são válidas. Na região fisicamente interessante em que a viagem no tempo se torna uma séria possibilidade, a teoria quântica assume o controle sobre a relatividade geral.

As equações de Einstein, lembramos, afirmam que o encurvamento, ou arqueamento, do espaço e tempo é determinado pelo conteúdo de matéria-energia do universo. De fato, é possível encontrar configurações de matéria-energia poderosas o bastante para forçar o encurvamento do tempo e permitir a viagem no tempo. No entanto, essas concentrações de matéria-energia necessárias para curvar o tempo para trás são tão vastas que a relatividade geral fracassa e correções quânticas passam a dominar a relatividade. Assim, o veredicto final sobre a viagem no tempo não pode ser pronunciado dentro da moldura das equações de Einstein, que fracassam em campos gravitacionais extremamente grandes, onde esperamos que

a teoria quântica se torne dominante.

É aí que a teoria do hiperespaço pode resolver a questão. Como tanto a teoria quântica quanto a teoria da gravidade de Einstein estão unidas num espaço de dez dimensões, esperamos que a questão da viagem no tempo vá ser decisivamente resolvida pela teoria do hiperespaço. Como no caso dos buracos de minhoca e das janelas dimensionais, o capítulo final será escrito quando incorporarmos o pleno poder da teoria do hiperespaço.

COLAPSO DA CAUSALIDADE

Autores de ficção científica muitas vezes indagaram o que poderia acontecer se um único indivíduo retornasse no tempo. Muitas dessas histórias, na superfície, parecem plausíveis. Mas imagine o caos que se implantaria se máquinas do tempo fossem tão comuns quanto automóveis, com dezenas de milhões delas disponíveis no comércio. A devastação logo imperaria, rasgando o tecido do nosso universo. Milhões de pessoas iriam voltar no tempo para interferir no próprio passado e no passado de outrem, reescrevendo a história. Alguns poderiam até voltar no tempo armados de revólveres para matar os pais de seus inimigos antes que eles tivessem nascido. Seria portanto impossível fazer um simples censo para verificar quantas pessoas haveria, em qualquer momento dado.

Se a viagem ao passado for possível, as leis da causalidade vão por água abaixo. De fato, toda a história tal como a conhecemos poderia igualmente desmoronar. Imagine o caos produzido por milhares de pessoas voltando no tempo para alterar eventos-chave no curso da história. De repente, a audiência do Ford's Theater estaria abarrotada de pessoas do futuro discutindo entre si para ver a quem caberia a honra de impedir o assassinato de Lincoln. O desembarque na Normandia seria arruinado com a chegada de milhares de caçadores de emoções armados de câmeras fotográficas.

Os principais campos de batalha da história se tornariam irreconhecíveis. Considere a vitória decisiva de Alexandre Magno sobre os persas comandados por Dario III em 331 a.C. na Batalha de Gaugamela. Essa batalha arrasou as forças persas e pôs fim à sua rivalidade com o Ocidente, o que contribuiu para permitir o florescimento da civilização e da cultura ocidental no mundo inteiro nos 1.000 anos seguintes. Mas considere o que aconteceria se um pequeno bando armado de mercenários equipados com pequenos foguetes e artilharia moderna entrasse na batalha. A mais leve exibição de armamento moderno iria pôr em debandada os terrificados soldados de Alexandre. Essa interferência no passado iria prejudicar a expansão da influência ocidental no mundo.

A viagem ao passado significaria que nenhum evento histórico no mundo jamais poderia ser completamente resolvido. Livros de história nunca poderiam ser escritos. Algum obstinado poderia sempre estar tentando assassinar o general Ulysses S. Grant ou entregar o segredo da bomba atômica aos alemães na década de 1930.

Que iria acontecer se a história pudesse ser reescrita tão facilmente quanto se apaga um quadro-negro? Nosso passado seria como as dunas movediças à beira-mar, continuamente sopradas para cá ou para lá pela mais leve brisa. A história estaria constantemente mudando a cada vez que alguém girasse o botão de uma máquina do tempo e fizesse a sua tola viagem ao passado. A História, tal como a conhecemos, seria impossível. Deixaria de existir.

A maior parte dos cientistas obviamente não aprecia essa desagradável possibilidade. Não só seria impossível para os historiadores dar algum sentido à "história", mas paradoxos genuínos surgiriam imediatamente sempre que entrássemos no passado ou no futuro. O cosmólogo Stephen Hawking, de fato, usou essa situação para fornecer um indício "experimental" de que a viagem no tempo não é possível. Ele acredita que a viagem no tempo não é possível "pelo fato de ainda não termos sido invadidos por hordas de turistas vindos do futuro".

PARADOXOS DO TEMPO

Para compreender os problemas envolvidos pela viagem no tempo, é necessário primeiro classificar os vários paradoxos. Em geral, a maioria deles pode ser dividida em um ou dois tipos principais:

1. Encontrar seus pais antes de você nascer
2. O homem sem passado

O primeiro tipo de viagem no tempo causa mais dano à estrutura do espaço-tempo porque altera eventos previamente registrados. Por exemplo, lembre-se de que em *De volta para o futuro* nosso jovem herói retorna no tempo e conhece sua mãe como uma mocinha, logo antes de ela se apaixonar pelo seu pai. Para seu choque e desilusão, ele descobre que havia impedido, sem se dar conta, o decisivo encontro entre seus pais. Para piorar as coisas, sua jovem mãe está agora amorosamente atraída por ele! Se ele impedir sem querer que sua mãe e seu pai se apaixonem e for incapaz de desviar o afeto inadequado da mãe, ele vai desaparecer, porque seu nascimento nunca acontecerá.

O segundo paradoxo envolve eventos sem nenhum começo. Por exemplo, digamos que um

inventor empobrecido, lutador, está tentando construir a primeira máquina do tempo do mundo em seu atravancado sótão. Sem mais aquela, um cavalheiro rico e idoso aparece e lhe oferece amplos fundos e as complexas equações e circuitos necessários para fazer uma máquina do tempo. Em seguida o inventor passa a enriquecer com o conhecimento adquirido com viagens no tempo, sabendo de antemão exatamente quando altas repentinas e grandes baixas da bolsa de valores vão ocorrer. Faz uma fortuna investindo na bolsa, em corridas de cavalo e outros eventos. Décadas mais tarde, como um idoso milionário, ele volta no tempo para cumprir seu destino. Encontra-se de novo com um jovem que trabalha em seu sótão e confia a seu eu mais jovem o segredo da viagem no tempo e o dinheiro para tirar proveito dela. A pergunta é: de onde saiu a ideia da viagem no tempo?

Talvez o mais maluco desses paradoxos do segundo tipo tenha sido forjado por Robert Heinlein em seu conto clássico "All You Zombies..."

Uma meninazinha é misteriosamente abandonada num orfanato em Cleveland em 1945. "Jane" cresce solitária e deprimida, sem saber quem são seus pais, até que, num dia de 1963, sente-se estranhamente atraída por um vagabundo. Apaixona-se por ele. Mas, exatamente quando as coisas estão finalmente melhorando para Jane, sucede uma série de desastres. Primeiro, ela engravida do vagabundo, que em seguida desaparece. Segundo, durante o complicado parto, os médicos descobrem que Jane tem os conjuntos dos dois sexos e, para lhe salvar a vida, são obrigados a convertê-la cirurgicamente em "ele". Por fim, um estranho misterioso sequestrou seu filho da sala de parto.

Recuperando-se desses desastres, rejeitada pela sociedade, desdenhada pela sorte, "ele" se torna um bêbado e um vagabundo. Além de perder os pais e seu amado, Jane perdeu também o filho. Anos mais tarde, em 1970, ele entra por acaso num bar ermo, chamado Pop's Place, e derrama sua patética história sobre um idoso garçom. O compassivo garçom oferece ao vagabundo a oportunidade de se vingar do estranho que a deixara grávida e a abandonara, com a condição de que ele ingressasse no "corpo dos viajantes no tempo". Os dois entram numa máquina, e o garçom conduz o vagabundo a 1963. O vagabundo se sente estranhamente atraído por uma jovem órfã, que em seguida engravida.

O garçom avança então nove meses, sequestra a meninazinha do hospital e a deixa no orfanato nos idos de 1945. Depois o garçom deixa o vagabundo inteiramente confuso em 1985, para que ele se aliste no corpo dos viajantes no tempo. O vagabundo acaba por ajeitar sua vida, torna-se um membro respeitável e veterano do corpo dos viajantes no tempo e então se disfarça de garçom de bar e enfrenta sua mais difícil missão: um encontro com o destino, topando com certo vagabundo no Pop's Place em 1970.

A pergunta é: quem é a mãe de Jane, seu pai, seu avô, sua avó, seu filho, sua filha, sua neta e seu neto? A moça, o vagabundo, e o garçom são evidentemente a mesma pessoa. Esses paradoxos podem lhe dar nós na cabeça, especialmente se você tentar desemaranhar os laços de parentesco torcidos de Jane. Se traçarmos a árvore genealógica de Jane, vamos descobrir que todos os ramos são enrolados para dentro sobre si mesmos, como num círculo. Chegamos à assombrosa conclusão de que ela é sua própria mãe e pai! Ela é toda uma árvore genealógica em si mesma.

LINHAS DE MUNDO

A relatividade nos fornece um método simples para impor alguma ordem nos mais espinhosos desses paradoxos. Vamos fazer uso do método da "linha de mundo", lançado por Einstein.

Por exemplo, digamos que nosso despertador nos acorde um dia às 8 horas da manhã, e resolvemos passar a manhã na cama em vez de ir trabalhar. Embora pareça que não estamos fazendo nada preguiçosamente na cama, estamos na verdade traçando uma "linha de mundo".

Pegue uma folha de papel de gráfico e, na escala horizontal, ponha "distância" e na escala vertical ponha "tempo". Se simplesmente ficamos na cama de oito horas ao meio-dia, nossa linha de mundo é uma linha reta vertical. Avançamos quatro horas em direção ao futuro, mas não percorremos nenhuma distância. Mesmo a prática de nosso passatempo favorito, não fazer nada, cria uma linha de mundo. (Se alguém algum dia nos criticar por nosso ócio, podemos afirmar com razão que, segundo a teoria da relatividade de Einstein, estamos traçando uma linha de mundo no nosso espaço-tempo quadridimensional.)

Agora vamos supor que finalmente saímos da cama ao meio-dia e chegamos ao trabalho à uma hora da tarde. Nossa linha de mundo ficou oblíqua porque estamos nos movendo tanto no espaço quanto no tempo. No canto esquerdo inferior está nossa casa e no canto direito superior está nosso escritório (Figura 11.1). Se vamos de carro para o trabalho, porém, chegamos ao escritório mais cedo, às 12:30h. Isso significa que quanto mais depressa viajamos, mais nossa linha de mundo se desvia da vertical. (Observe que há também no diagrama uma "região proibida" em que nossa linha de mundo não pode entrar porque teríamos de nos deslocar numa velocidade maior que a da luz.)

Uma conclusão é imediata. Nossa linha de mundo nunca realmente começa ou acaba. Mesmo quando morremos, as linhas de mundo das moléculas do nosso corpo continuam. Essas moléculas podem se dispersar no ar ou no solo, mas irão traçar suas intermináveis linhas de mundo. De maneira similar, quando nascemos, as linhas de mundo das moléculas que vêm da

nossa mãe se fundem num bebê. As linhas de mundo não se rompem nem aparecem do nada em ponto algum.

Para ver como tudo isso se encaixa, tome o simples exemplo de nossa própria linha de mundo pessoal. Em 1950, digamos, nossa mãe e nosso pai se encontraram, se apaixonaram e produziram um bebê (nós). Assim as linhas de mundo de nossa mãe e de nosso pai colidiram e produziram uma terceira linha (a nossa). Finalmente, quando alguém morre, as linhas de mundo que formam a pessoa se dispersam nas bilhões de linhas de mundo de nossas moléculas. Desse ponto de vista, um ser humano pode ser definido como um ajuntamento temporário de linhas de mundo de moléculas. Essas linhas de mundo estavam espalhadas antes que ele nascesse, reuniram-se para formar seu corpo e voltarão a se espalhar depois que ele morrer. A Bíblia diz: "Tu és pó e ao pó retornarás." Nesta representação relativística, poderíamos dizer: "Tu és linhas de mundo e às linhas de mundo retornarás."

Nossa linha de mundo contém todo o corpo de informação concernente à nossa história. Tudo que já nos aconteceu – de nossa primeira bicicleta até nosso primeiro namoro ou nosso primeiro emprego – está registrado em nossa linha de mundo. De fato, o grande cosmólogo russo George Gamow, que é famoso por abordar o trabalho de Einstein com senso de humor e imaginação, intitulou apropriadamente sua autobiografia de *Minha linha de mundo*.

Com a ajuda da linha de mundo, podemos agora imaginar o que acontece quando voltamos no tempo. Digamos que entremos numa máquina do tempo e encontremos nossa mãe antes de termos nascido. Lamentavelmente, ela se apaixona por nós e trai nosso pai. Será que realmente desaparecemos, como é mostrado em *De volta para o futuro?* Numa linha de mundo vemos agora por que isso é impossível. Quando desaparecemos, nossa linha de mundo desaparece. No entanto, segundo Einstein, linhas de mundo não podem ser cortadas. Assim, alterar o passado não é possível na relatividade.

O segundo paradoxo, que envolve a recriação do passado, suscita no entanto problemas interessantes. Por exemplo, ao voltarmos no tempo, estamos realizando o passado, não o destruindo. Assim, a linha de mundo do inventor da viagem no tempo é um laço fechado. Sua linha de mundo *realiza* o passado em vez de mudá-lo.

Muito mais complicada é a linha de mundo de "Jane", a mulher que é sua própria mãe e seu próprio pai, seu próprio filho e sua própria filha (Figura 11.2).

Observe mais uma vez que não podemos alterar o passado. Quando nossa linha de mundo recua no tempo, ela simplesmente realiza o que já é sabido. Em um universo assim, portanto, é possível encontrar consigo mesmo no passado. Se vivemos através de um ciclo, então mais cedo ou mais tarde encontramos um rapazinho ou uma moça que vêm a ser nós mesmos quando

jovens. Dizemos a esse jovem que ele parece suspeitamente familiar. Depois, pensando um pouco, lembramos que quando éramos jovens encontramos uma curiosa pessoa mais velha que disse que parecíamos familiares. Portanto, talvez possamos realizar o passado, mas nunca alterá-lo. Linhas de mundo, como enfatizamos, não podem ser cortadas e não podem terminar. Podem talvez fazer laços no tempo, nunca alterá-lo.

Esses diagramas cônicos da luz, no entanto, foram apresentados somente na moldura da relatividade especial, que pode descrever o que acontece se entrarmos no passado, mas é primitivo demais para resolver a questão de se a viagem no tempo faz algum sentido. Para responder a essa questão mais ampla, devemos nos voltar para a teoria geral da relatividade, em que a situação se torna muito mais delicada.

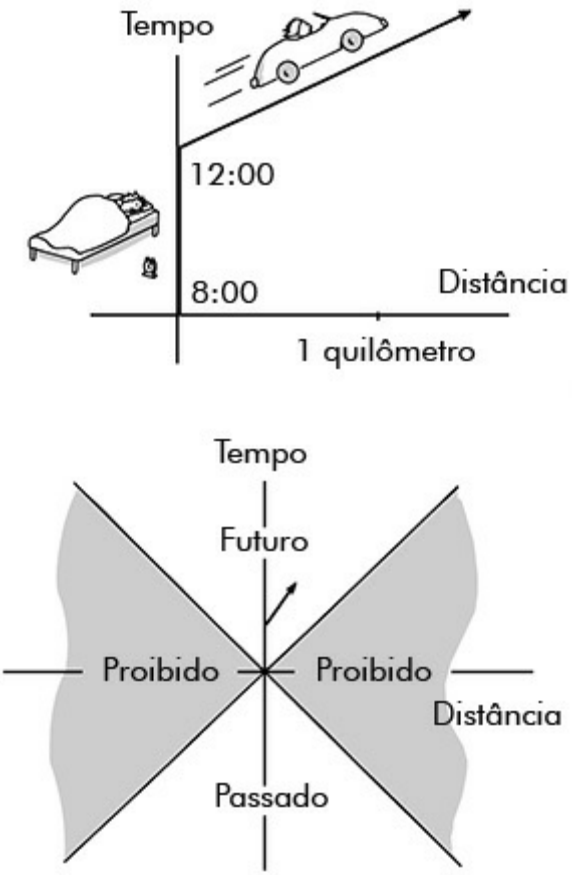


Figura 11.1. Nossa linha de mundo sintetiza toda a nossa história, do nascimento à morte. Por exemplo, se ficamos na cama das 08:00 às 12:00h, nossa linha de mundo é uma linha vertical. Se vamos de carro para o trabalho, nossa linha de mundo se torna uma linha inclinada. Quanto mais depressa nos movermos, mais inclinada se torna nossa linha de mundo. A rapidez máxima com que podemos nos mover, no entanto, é a velocidade da luz. Assim, parte do diagrama de espaço-tempo é "proibida"; isto é, teríamos de nos mover numa velocidade maior que a da luz para entrar nessa zona proibida.

Com o pleno poder da relatividade geral, vemos que essas linhas de mundo torcidas poderiam ser fisicamente permitidas. Esses laços fechados são conhecidos pelo nome científico de curvas temporais fechadas (CTCs, de closed timelike curves). O que se debate

nos círculos científicos é se as CTCs são autorizadas pela relatividade geral e pela teoria quântica.

DESMANCHA-PRAZERES DA ARITMÉTICA E DA RELATIVIDADE GERAL

Em 1949, Einstein estava envolvido com uma descoberta feita por um de seus mais íntimos colegas e amigos, o matemático vienense Kurt Gödel, também no Institute of Advanced Study em Princeton, onde Einstein trabalhava. Gödel encontrou uma perturbadora solução para as equações de Einstein que permitia violações dos dogmas básicos do senso comum: sua solução permitia certas formas de viagem no tempo. Pela primeira vez na história, a viagem no tempo ganhava um fundamento matemático.

Em alguns círculos, Gödel era conhecido como desmancha-prazeres. Em 1931 ele se tornou famoso (ou, na verdade, famigerado) ao provar, contrariando todas as expectativas, que não é possível provar a coerência interna da aritmética. No processo, arruinou um sonho de 2.000 anos, que remontava a Euclides e aos gregos, e que deveria ter sido o coroamento da matemática: a redução de toda a matemática a um conjunto pequeno e coerente de axiomas dos quais tudo pudesse ser derivado.

Num *tour de force* matemático, Gödel mostrou que sempre haveria teoremas na aritmética cuja correção ou incorreção nunca poderá ser demonstrada a partir dos axiomas da aritmética; isto é, a aritmética será sempre incompleta. O resultado obtido por Gödel foi o mais sensacional e inesperado desenvolvimento na lógica matemática talvez em mil anos.

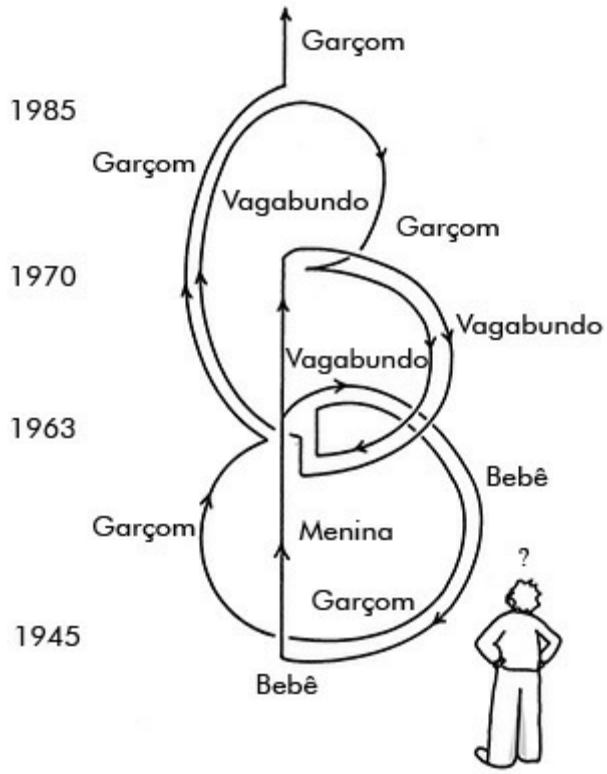


Figura 11.2. Se a viagem no tempo for possível, nossa linha de mundo torna-se um laço fechado. Em 1945 a menina nasceu. Em 1963 ela tem um bebê. Em 1970 ele é um vagabundo que retorna a 1945 para se encontrar consigo mesmo. Em 1985 ele é um viajante no tempo que apanha a si mesmo num bar em 1970, leva-se a si mesmo de volta a 1945, sequestra o bebê e a leva de volta a 1945, para começar tudo de novo. A menina é sua própria mãe, pai, avô, avó, filho, filha e assim por diante.

A matemática, outrora concebida como a mais pura das ciências por ser precisa e certa, não maculada pela desagradável crueza de nosso mundo material, agora se tornava incerta. Depois de Gödel, a base fundamental para a matemática parecia estar à deriva. (Grosseiramente falando, a extraordinária prova de Gödel começou pela exibição de curiosos paradoxos existentes na lógica. Por exemplo, considere a afirmação "Esta sentença é falsa". Se a sentença for verdadeira, segue-se que ela é falsa. Se a sentença for falsa, então ela é verdadeira. Ou considere a afirmação "Eu sou um mentiroso". Nesse caso só sou um mentiroso se estiver dizendo a verdade. Gödel formulou então a afirmação "Esta sentença não pode ter sua verdade comprovada". Se a sentença for correta, sua correção não pode ser provada. Construindo cuidadosamente uma complexa rede de paradoxos como estes, Gödel mostrou que há afirmações verdadeiras que não podem ser provadas mediante o uso da aritmética.)

Depois de demolir um dos mais caros sonhos de toda a matemática, Gödel estilhaçou em seguida o pensamento convencional em torno das equações de Einstein. Mostrou que a teoria de Einstein contém algumas patologias surpreendentes, inclusive a viagem no tempo.

Primeiro ele supôs que o universo estava cheio de um gás ou poeira que giravam lentamente. Isso parecia razoável, já que as grandes distâncias do universo parecem realmente

estar cheias de gás e areia. No entanto, a solução de Gödel causou grande interesse por duas razões.

Primeiro, ela violava o princípio de Mach. Gödel mostrou que *duas* soluções das equações de Einstein eram possíveis com a mesma distribuição de poeira e gás. (Isso significava que o princípio de Mach era de certo modo incompleto, que havia pressupostos ocultos presentes.)

Mais importante, ele mostrou que certas formas de viagem no tempo eram permitidas. Se alguém seguisse a trajetória de uma partícula num universo de Gödel, ela iria acabar se encontrando consigo mesma no passado. Ele escreveu: "Fazendo uma viagem de ida e volta num foguete numa curva suficientemente larga, é possível nesses mundos viajar para quaisquer regiões do passado, presente e futuro e voltar."[1] Assim, Gödel encontrou a primeira CTC na relatividade geral.

Anteriormente, Newton considerava que o tempo se movia como uma flecha reta, que voava infalivelmente em direção a seu alvo. Nada podia deflectir ou mudar o curso dessa flecha uma vez que ela fosse disparada. Einstein, no entanto, mostrou que o tempo se assemelhava antes a um rio poderoso, movendo-se para frente mas frequentemente fazendo meandros através de vales e planícies tortuosos. A presença de matéria ou energia podia momentaneamente desviar a direção do rio, mas seu curso geral era regular: ele nunca terminava abruptamente ou fazia um movimento brusco para trás. No entanto, Gödel mostrou que o rio do tempo podia ser suavemente encurvado num círculo. Os rios, afinal de contas, têm contracorrentes e torvelinhos. No geral, um rio pode fluir para a frente, mas nas bordas sempre há poças onde a água flui num movimento circular.

A solução de Gödel não podia ser descartada como o trabalho de um maluco porque ele havia usado as próprias equações de campo de Einstein para encontrar estranhas soluções pelas quais o tempo podia ser vergado num círculo. Como Gödel havia jogado segundo as regras e descoberto uma solução legítima para suas equações, Einstein foi obrigado a tomar o caminho evasivo e descartá-la com a alegação de que ela não correspondia aos dados experimentais.

O ponto fraco do universo de Gödel era o pressuposto de que gás e poeira no universo estavam numa rotação muito lenta. Experimentalmente, não vemos nenhuma rotação da poeira cósmica e do gás no espaço. Nossos instrumentos verificaram que o universo está se expandindo, mas não parece estar em rotação. Assim, o universo de Gödel pode ser descartado com segurança. (Isto nos deixa com a possibilidade bastante perturbadora, embora plausível, de que, se nosso universo girasse, como Gödel especulou, as CTCs e a viagem no tempo seriam fisicamente possíveis.)

Einstein morreu em 1955, satisfeito por saber que as soluções perturbadoras para suas equações podiam ser varridas para baixo do tapete por razões experimentais e que as pessoas não podiam conhecer seus pais antes de nascer.

VIVER NA ZONA DA PENUMBRA

Depois, em 1963, Ezra Newman, Theodore Unti e Louis Tamburino descobriram uma nova solução para as equações de Einstein que era ainda mais maluca que a de Gödel. Diferentemente do universo de Gödel, sua solução não era baseada num universo cheio de areia e poeira em rotação. Superficialmente, ele se assemelhava a um buraco negro típico.

Como na solução de Gödel, o universo deles permitia CTCs e viagem no tempo. Além disso, quando girasse 360 graus em torno do buraco negro, você não iria terminar no ponto em que tinha originalmente começado. Em vez disso, como se vivesse num universo com um corte riemanniano, iria terminar em outra lâmina do universo. A topologia de um universo Newman-Unti-Tamburino poderia ser comparada à vida numa escada em espiral. Movendo-nos 360 graus em torno da escada, não chegamos ao mesmo ponto onde começamos, mas a outro patamar da escada. Viver num universo assim superaria nossos piores pesadelos, com o bom senso sendo completamente jogado pela janela. De fato, esse esquisito universo era tão patológico que logo foi apelidado o universo NUT (ou maluco), segundo as iniciais de seus criadores.

De início, os relativistas descartaram a solução NUT, tal como haviam descartado a solução de Gödel; isto é, como nosso universo não parecia evoluir da maneira prevista por essas soluções, elas foram arbitrariamente descartadas por razões experimentais. No entanto, com o passar das décadas, houve um dilúvio dessas soluções bizarras para as equações de Einstein que permitiam a viagem no tempo. No início da década de 1970, Frank J. Tipler, da Tulane University em Nova Orleans, reanalisou uma antiga solução para as equações de Einstein descobertas por W. J. van Stockum em 1936, antes da solução de Gödel. Essa solução presumia a existência de um cilindro infinitamente longo e rotante. De maneira bastante surpreendente, Tipler foi capaz de mostrar que essa solução também violava a causalidade.

Conseguiu-se mostrar até que a solução de Kerr (que representa a descrição fisicamente mais realista de buracos negros no espaço exterior) permitia a viagem no tempo. Foguetes que passassem através do centro do buraco negro de Kerr (supondo-se que não sejam esmagados no processo) poderiam violar a causalidade.

Logo, físicos descobriram que singularidades do tipo NUT poderiam ser inseridas em

qualquer buraco negro ou universo em expansão. De fato, agora tornava-se possível fabricar um número infinito de soluções patológicas para as equações de Einstein. Seria possível mostrar, por exemplo, que cada solução de buraco de minhoca para as equações de Einstein permite algum tipo de viagem no tempo.

De acordo com o relativista Frank Tipler, "é possível encontrar soluções para as equações de campo que exibem praticamente qualquer tipo de comportamento bizarro".[2] Assim foi descoberta uma explosão de soluções patológicas para as equações de Einstein que certamente teriam horrorizado Einstein se ele ainda estivesse vivo.

As equações de Einstein, em certo sentido, eram como um cavalo de Troia. Na aparência, o cavalo parece um presente perfeitamente aceitável, dando-nos a curvatura da luz das estrelas e uma convincente explicação da origem do universo. No entanto, lá dentro se embosca toda a sorte de estranhos demônios e duendes, que tornam possível a viagem interestelar através de buracos de minhoca e a viagem no tempo. O preço que tivemos de pagar para espreitar os mais obscuros segredos do universo foi a derrocada potencial de algumas de nossas crenças mais aceitas sobre nosso mundo – a de que seu espaço é simplesmente conectado e sua história é inalterável.

Mas a questão ainda permanece: poderiam aquelas CTCs ser descartadas em bases puramente experimentais, como o fez Einstein, ou poderia alguém mostrar que elas eram teoricamente possíveis e então construir realmente uma máquina do tempo?

PARA CONSTRUIR UMA MÁQUINA DO TEMPO

Em junho de 1988, três físicos (Kip Thorne e Michael Morris, do California Institute of Technology, e Ulvi Yurtsever, da Universidade de Michigan) fizeram a primeira proposta séria de uma máquina do tempo. Eles convenceram os editores da *Physical Review Letters*, uma das mais conceituadas publicações do mundo, de que seu trabalho merecia séria consideração. (Ao longo de décadas, montes de propostas malucas para viagens no tempo haviam sido apresentadas às principais revistas de física, mas todas haviam sido rejeitadas por não serem fundamentadas em princípios físicos sólidos ou nas equações de Einstein.) Como cientistas experientes, eles apresentaram seus argumentos numa linguagem teórica aceita no campo e em seguida explicaram cuidadosamente onde estavam seus pressupostos mais fracos.

Para superar o ceticismo da comunidade científica, Thorne e seus colegas compreenderam que teriam de suplantar as objeções-padrão ao uso de buracos de minhoca como máquinas do tempo. Primeiro, como já foi mencionado, o próprio Einstein compreendia que as forças

gravitacionais no centro do buraco negro seriam tão enormes que qualquer nave espacial seria despedaçada. Embora matematicamente possíveis, os buracos de minhoca eram inúteis na prática.

Segundo, buracos de minhoca podiam ser instáveis. Era possível demonstrar que uma pequena perturbação em buracos de minhoca podia levar ao colapso da ponte Einstein-Rosen. Assim, a presença de uma nave espacial no interior de um buraco negro poderia ser suficiente para causar um transtorno que fecharia a entrada do buraco.

Terceiro, seria preciso avançar mais rápido que a luz para realmente penetrar no buraco negro até o outro lado.

Quarto, efeitos quânticos seriam tão grandes que o buraco de minhoca poderia se fechar por si mesmo. Por exemplo, a intensa radiação emitida pela entrada no buraco negro não só iria matar quem quer que tentasse esse ingresso, mas poderia também fechar a própria entrada.

Quinto, o tempo se desacelera num buraco negro e chega a se deter por completo em seu centro. Assim, os buracos de minhoca têm a indesejável característica de que, na visão de alguém na Terra, um viajante espacial parece se desacelerar e parar por completo no seu centro. O viajante espacial dá a impressão de ter sido congelado no tempo. Em outras palavras, um viajante espacial precisa de uma quantidade infinita de tempo para atravessar um buraco de minhoca. Admitindo, por enquanto, que alguém pudesse chegar de algum modo ao centro do buraco de minhoca e retornar à Terra, a distorção do tempo ainda seria tão grande que milhões ou até bilhões de anos poderiam ter se passado na Terra.

Por todas essas razões, as soluções do buraco de minhoca nunca eram levadas a sério.

Thorne é um cosmólogo sério, um desses que normalmente veriam máquinas do tempo com extremo ceticismo ou até com desprezo. No entanto, Thorne sentiu-se gradualmente atraído para essa exploração da mais curiosa maneira. No verão de 1985, Carl Sagan enviou a Thorne as provas de seu próximo livro, um romance chamado *Contact*, que explora seriamente as questões científicas e políticas que envolvem um evento memorável: o contato com a primeira vida extraterrestre no espaço exterior. Todo cientista que reflete sobre a questão da vida no espaço exterior tem de enfrentar a questão de como romper a barreira da luz. Como a teoria especial da relatividade de Einstein veda a viagem em velocidade maior que a da luz, a viagem para estrelas distantes numa nave espacial convencional demanda milhares de anos, o que torna a viagem interestelar impossível. Como Sagan queria tornar seu livro o mais cientificamente correto possível, escreveu a Thorne perguntando se havia algum meio cientificamente aceitável de escapar da barreira da luz.

A pergunta de Sagan espicaçou a curiosidade intelectual de Thorne. Ali estava uma

solicitação honesta, cientificamente relevante, feita por um cientista a outro e que exigia resposta séria. Felizmente, em razão da natureza pouco ortodoxa da indagação, Thorne e seus colegas abordaram a questão de uma maneira extremamente inusitada: procederam *de trás para frente*. Normalmente, os físicos começam com certo objeto astronômico conhecido (uma estrela de nêutrons, um buraco negro, o Big Bang) e depois resolvem as equações de Einstein para encontrar a curvatura do espaço circundante. A essência das equações de Einstein, como nos lembramos, é que o conteúdo de matéria e a energia de um objeto determinam a quantidade de curvatura no espaço e no tempo circundantes. Procedendo desta maneira, temos a garantia de encontrar soluções para as equações de Einstein para objetos astronomicamente relevantes que esperamos descobrir no espaço exterior.

No entanto, por causa da estranha solicitação de Sagan, Thorne e seus colegas abordaram a questão de trás para a frente. Começaram com uma ideia grosseira do que queriam encontrar. Queriam uma solução para as equações de Einstein em que um viajante espacial não seria dilacerado pelos efeitos de maré do intenso campo gravitacional. Queriam um buraco de minhoca que fosse estável e não se fechasse de repente no meio da viagem. Queriam um buraco de minhoca em que o tempo necessário para uma viagem de ida e volta seria medido em dias, não em milhões ou bilhões de anos, e assim por diante. De fato, o princípio que os norteou foi o desejo de que um viajante espacial tivesse uma viagem razoavelmente confortável de regresso no tempo depois de entrar no buraco de minhoca. Uma vez que decidiram que aspecto seu buraco de minhoca teria, só então começaram a calcular a quantidade de energia necessária para criar tal buraco de minhoca.

A partir de seu ponto de vista nada ortodoxo, eles não se preocuparam particularmente em saber se as exigências de energia estavam muito acima da ciência do século XX. Para eles, a construção efetiva de uma máquina do tempo era um problema de engenharia para alguma civilização futura. Queriam provar que a viagem era cientificamente viável, não que era econômica ou que estava dentro dos limites da ciência atual.

> Normalmente, físicos teóricos perguntam: "O que são as leis da física?" e/ou "O que essas leis preveem sobre o Universo?" Nesta Carta, perguntamos, em vez disso, "Que limitações as leis da física impõem às atividades de uma civilização arbitrariamente avançada?" Isso conduzirá a algumas intrigantes indagações sobre as próprias leis. Começamos perguntando se as leis da física permitem que uma civilização arbitrariamente avançada construa e mantenha buracos de minhoca para viagens interestelares.[3]

A expressão-chave, obviamente, é "civilização arbitrariamente avançada". As leis da física nos dizem o que é possível, não o que é prático. As leis da física são independentes do preço que seu teste poderá custar. Assim, o que é teoricamente possível pode exceder todo os

produtos nacionais brutos do planeta Terra. Thorne e seus colegas tiveram o cuidado de declarar que essa civilização mítica, capaz de explorar o poder dos buracos de minhoca, deve ser "arbitrariamente avançada" – isto é, capaz de executar todos os experimentos possíveis (ainda que estes não sejam viáveis para terráqueos).

Para sua grande satisfação, logo descobriram, com muita facilidade, uma solução surpreendentemente simples que satisfazia todas as suas rígidas imposições. *Não* era em absoluto uma solução de buraco negro típica, de modo que não tiveram de se preocupar com todos os problemas da dilaceração por uma estrela em colapso. Eles batizaram sua solução de "buraco de minhoca transversível", para distingui-la de outras soluções de buracos de minhoca que não são transversíveis por uma nave espacial. Ficaram tão entusiasmados com sua solução que escreveram de volta a Sagan, que então incorporou algumas de suas ideias em seu romance. De fato, ficaram tão surpresos com a simplicidade de sua solução que se convenceram de que um estudante no início da pós-graduação em física seria capaz de compreendê-la. No outono de 1985, no exame final do curso sobre relatividade geral que dava no Caltech, Thorne deu a solução do buraco de minhoca para os alunos, sem lhes contar do que se tratava, e pediu-lhes que deduzissem suas propriedades físicas. (Em sua maioria, os alunos deram detalhadas análises matemáticas da solução, mas não conseguiram compreender que estavam diante de uma solução que permitia a viagem no tempo.)

Se tivessem sido um pouquinho mais observadores nesse exame final, os estudantes teriam sido capazes de deduzir algumas propriedades bastante espantosas do buraco de minhoca. De fato, teriam descoberto que uma viagem através desse buraco de minhoca transversível seria tão confortável quanto uma viagem de avião. As forças gravitacionais máximas experimentadas pelos viajantes não excederiam 1 *g*. Em outras palavras, seu peso aparente não excederia seu peso na Terra. Além disso, os viajantes nunca teriam de se incomodar com a possibilidade de a entrada do buraco de minhoca se fechar durante a viagem. De fato, o buraco de minhoca de Thorne seria permanentemente aberto. Em vez de levar um milhão ou um bilhão de anos, uma viagem através do buraco de minhoca transversível seria viável. Morris e Thorne escreveram que "a viagem será totalmente confortável e exigirá cerca de 200 dias", ou menos.[4]

Até agora, Thorne observa, os paradoxos temporais que geralmente encontramos nos filmes não se verificam: "Pela exposição a roteiros de ficção científica (por exemplo, aqueles em que a pessoa volta no tempo e mata a si mesma), poder-se-ia esperar que as CTCs dessem origem a trajetórias iniciais com multiplicidades zero" (isto é, trajetórias impossíveis).[5] No entanto, ele mostrou que as CTCs que aparecem em seu buraco de minhoca parecem *realizar* o

passado, e não mudá-lo ou iniciar paradoxos temporais.

Por fim, ao apresentar esses surpreendentes resultados à comunidade científica, Thorne escreveu: "É apresentada uma nova classe de solução das equações de campo de Einstein, que descreve buracos de minhoca que, em princípio, poderiam ser atravessados por seres humanos."

Há, é claro, um engodo nisso tudo, e essa é uma das razões por que não temos máquinas do tempo hoje. O último passo do cálculo de Thorne foi deduzir a natureza precisa da matéria e energia necessária para criar esse maravilhoso buraco de minhoca transversível. Thorne e seus colegas descobriram que, no centro do buraco de minhoca, deveria haver uma forma "exótica" de matéria, dotada de propriedades inusitadas. Thorne rapidamente assinalou que essa forma "exótica" de matéria, embora inusitada, não parecia violar nenhuma das leis conhecidas da física. Advertiu que, em algum ponto futuro, cientistas poderão provar que a matéria exótica não existe. No entanto, presentemente, a matéria exótica parece ser uma forma perfeitamente aceitável de matéria *caso* se tenha acesso a tecnologia suficientemente avançada. Thorne escreveu com confiança que "a partir de um único buraco de minhoca uma civilização arbitrariamente avançada pode construir uma máquina para a viagem do tempo ao revés".

PROJETO PARA UMA MÁQUINA DO TEMPO

Todo aquele que tenha lido *A máquina do tempo* de H. G. Wells, no entanto, pode ficar desapontado com o projeto de máquina do tempo de Thorne. Você não se senta numa cadeira de sua sala de estar, gira alguns botões, vê luzes piscando e testemunha um vasto panorama de história, inclusive destrutivas guerras mundiais, a ascensão e a queda de grandes civilizações, ou frutos de maravilhas científicas futuristas.

Uma versão da máquina do tempo de Thorne consiste em duas câmaras, cada uma com duas placas de metal paralelas. Os intensos campos elétricos gerados entre cada par de placas (maiores do que qualquer coisa possível com a tecnologia atual) rasgam o tecido do espaço-tempo, criando no espaço um buraco que liga as duas câmaras. Uma câmara é então posta numa nave propelida a foguetes e esta é acelerada a velocidades próximas à da luz, enquanto a outra câmara permanece na Terra. Como um buraco de minhoca pode conectar duas regiões do espaço com diferentes tempos, um relógio na primeira câmara se move mais lentamente que um relógio na segunda câmara. Como o tempo passaria em diferentes ritmos nas duas pontas do buraco de minhoca, tudo que caísse numa extremidade do buraco de minhoca seria

instantaneamente arremessado no passado ou no futuro.

Outra máquina do tempo poderia ter a seguinte aparência: se fosse possível encontrar a matéria exótica e moldá-la como metal, a forma ideal seria presumivelmente um cilindro. Um ser humano se posta no centro do cilindro. A matéria exótica então empena o espaço e o tempo em volta dele, criando um buraco de minhoca que se conecta com uma distante parte do universo num tempo diferente. No centro do vórtice está o ser humano, que experimenta então não mais que 1 *g* de tensão gravitacional sobre ele ao ser sugado para dentro do buraco de minhoca, para se encontrar na outra extremidade do universo.

Aparentemente, o raciocínio matemático de Thorne é impecável. As equações de Einstein realmente mostram que soluções de buraco de minhoca permitem ao tempo passar em ritmos diferentes nos dois lados do buraco de minhoca, de modo que a viagem no tempo, em princípio, é possível. O truque, é claro, é primeiro criar o buraco de minhoca. Como Thorne e seus colaboradores são rápidos em assinalar, o principal problema é como utilizar energia suficiente para criar e manter um buraco de minhoca com matéria exótica.

Normalmente, um dos dogmas básicos da física elementar é que todos os objetos têm energia positiva. Moléculas vibráteis, carros em movimento, pássaros voando e foguetes pairando nos ares, todos têm energia positiva. (Por definição, o vácuo vazio do espaço tem energia zero.) No entanto, se pudéssemos produzir objetos com "energias negativas" (isto é, algo que tenha um conteúdo de energia menor que o vácuo), poderíamos ser capazes de gerar configurações exóticas de espaço e tempo em que o tempo é curvado num círculo.

Este conceito bastante simples recebe um título que soa complicado: condição de energia fraca média (AWEC, de averaged weak energy condition). Como Thorne tem o cuidado de assinalar, a AWEC tem de ser violada; a energia deve se tornar temporariamente *negativa* para uma viagem no tempo ter sucesso. No entanto, energia negativa foi historicamente um anátema para os relativistas, que compreendem que a energia negativa tornaria possível a antigravidade e uma multidão de outros fenômenos que nunca foram vistos experimentalmente.

Mas Thorne assinala no ato que há um meio de se obter energia negativa, e isso se dá através da teoria quântica. Em 1948, o físico holandês Henrik Casimir demonstrou que a teoria quântica pode criar energia negativa. Simplesmente pegue duas grandes placas de metal paralelas sem carga. Comumente, o bom senso nos diz que essas duas placas, por serem eletricamente neutras, não exercem nenhuma força uma sobre a outra. Mas Casimir provou que o vácuo que separava as duas placas, em razão do Princípio de Incerteza de Heisenberg, está de fato em plena atividade, com trilhões de partículas e antipartículas aparecendo e desaparecendo constantemente. Elas aparecem do nada e desaparecem de volta no vácuo.

Sendo tão fugazes, são, em sua maior parte, inobserváveis, e não violam nenhuma das leis da física. Essas "partículas virtuais" criam uma força atrativa líquida entre essas duas placas que, segundo Casimir, era mensurável. Quando publicou seu trabalho pela primeira vez, Casimir encontrou extremo ceticismo. Afinal, como podem dois objetos eletricamente neutros atrair um ao outro, violando assim as leis usuais da eletricidade clássica? Nunca se ouvira falar disso. No entanto, em 1958 o físico M. J. Sparnaay observou o mesmo efeito no laboratório, exatamente como Casimir havia previsto. Desde então, ele foi batizado *efeito Casimir*.

Uma maneira de tirar proveito do efeito Casimir é pôr duas grandes placas condutoras paralelas na entrada de cada buraco de minhoca, criando assim energia negativa em cada ponta. Como Thorne e seus colegas concluem, "Pode ser que a condição de energia fraca média nunca possa ser violada, caso em que não seria possível haver tais coisas como buracos de minhoca transversíveis, viagem no tempo ou uma falência da causalidade. É prematuro tentar cruzar uma ponte antes de se chegar a ela".[6]

Atualmente, o júri ainda não se pronunciou sobre a máquina do tempo de Thorne. O fator decisivo, todos concordam, é haver uma teoria plenamente quantizada da gravidade resolvendo a matéria de uma vez por todas. Por exemplo, Stephen Hawking assinalou que a radiação emitida na entrada de um buraco de minhoca será bastante grande e irá reforçar o conteúdo matéria-energia das equações de Einstein. Esse *feedback* nas equações de Einstein irá distorcer a entrada do buraco de minhoca, talvez cerrando-o para sempre. Thorne, contudo, discorda que a radiação seria suficiente para fechar a entrada.

É nesse ponto que a teoria das supercordas intervém. Sendo uma teoria plenamente quântica, que inclui a teoria da relatividade geral de Einstein como um subconjunto, ela pode ser usada para calcular correções à teoria original do buraco de minhoca. Em princípio, ela nos permite determinar se a condição AWEC é fisicamente realizável, e se a entrada do buraco de minhoca permanece aberta para que os viajantes no tempo desfrutem uma viagem ao passado.

Hawking expressou reservas quanto aos buracos de minhoca de Thorne. Mas isso é irônico, porque o próprio Hawking propôs uma nova teoria de buracos de minhoca que é ainda mais fantástica. Em vez de conectar o presente com o passado, Hawking propõe conectar nosso universo com um número infinito de universos paralelos!

---

o. Havia uma mocinha que se chamava Esperta, / Cuja velocidade era muito maior que a da luz, / Um dia ela partiu, / De uma maneira relativa, / E retornou na noite anterior.

12

Universos em colisão

[A natureza é] não só mais extravagante do que supomos, é mais extravagante do que podemos supor.
J. B. S. Haldane

O cosmólogo Stephen Hawking é uma das mais trágicas figuras na ciência. Morrendo de uma doença degenerativa incurável, ele tem levado adiante incansavelmente suas atividades de pesquisa diante de obstáculos quase insuperáveis. Embora tenha perdido o controle das mãos, pernas, língua e finalmente das cordas vocais, ele foi a ponta de lança na abertura de novas abordagens de pesquisa enquanto confinado a uma cadeira de rodas. Qualquer físico menor teria desistido há muito tempo da luta para enfrentar os grandes problemas da ciência.

Incapaz de segurar um lápis ou uma caneta, ele efetua todos os seus cálculos de cabeça, ocasionalmente auxiliado por um assistente. Privado de cordas vocais, usa aparelhos mecânicos para se comunicar com o mundo externo. Mas não só mantém um vigoroso programa de pesquisa, como ainda arranjou tempo para escrever um best-seller, *Uma breve história do tempo*, e para fazer conferências pelo mundo afora.

Uma vez visitei Hawking em sua casa logo junto à Universidade de Cambridge quando fui convidado a falar numa conferência de física que ele estava organizando. Ao atravessar sua sala de estar, fiquei surpreendido com o impressionante aparato de dispositivos engenhosos que ele usa para continuar sua pesquisa. Por exemplo, vi numa escrivaninha um dispositivo muito parecido com aqueles que os músicos usam para segurar suas partituras. Este, contudo, era muito mais elaborado e tinha a capacidade de agarrar cada página e virá-la cuidadosamente para a leitura de um livro. (Tremi ao considerar, como muitos físicos fizeram, se eu teria a força moral e a pura força de vontade de continuar pesquisando sem braços pernas ou sem voz, mesmo com os melhores equipamentos mecânicos à minha disposição.)

Hawking é o Professor Lucasiano de Física da Universidade de Cambridge, a mesma cátedra ocupada por Isaac Newton. E como seu ilustre predecessor, Hawking embarcou na maior aventura do século, a unificação final da teoria da gravidade de Einstein com a teoria quântica. Em consequência, ele, também, se maravilhou com a elegante coerência da teoria de dez dimensões, e de fato encerra seu best-seller com uma discussão sobre ela.

Hawking não mais despende a maior parte de sua energia criativa no campo que o tornou mundialmente famoso – buracos negros –, que está agora ultrapassado. Está atrás de caça mais

graúda – a teoria unificada de campo. A teoria das cordas, como nos lembramos, começou como uma teoria quântica e mais tarde absorveu a teoria da gravidade de Einstein. Hawking, começando como um puro relativista clássico e não como um teórico quântico, aborda o problema do outro ponto de vista. Ele e seu colega James Hartle começam com o universo clássico de Einstein, e depois quantificam todo o universo!

FUNÇÃO DE ONDA DO UNIVERSO

Hawking é um dos fundadores de uma nova disciplina, chamada *cosmologia quântica*. De início, isto parece uma contradição nos termos. A palavra *quantum* se aplica ao mundo infinitesimalmente pequeno dos quarks e dos neutrinos, ao passo que *cosmologia* significa a vastidão quase ilimitada do espaço exterior. No entanto, Hawking e outros acreditam agora que as questões últimas da cosmologia só podem ser respondidas pela teoria quântica. Hawking leva a cosmologia quântica às suas últimas consequências quânticas, permitindo a existência de números infinitos de universos paralelos.

O ponto de partida da teoria quântica, como nos lembramos, é uma função de onda que descreve todos os vários possíveis estados de uma partícula. Por exemplo, imagine uma nuvem de tempestade grande e irregular, que enche o céu. Quanto mais escura a nuvem de tempestade, maior a concentração de vapor de água e poeira naquele ponto. Assim, apenas olhando para uma nuvem de tempestade, podemos estimar rapidamente a probabilidade de encontrar grande concentração de água e poeira em certas partes do céu.

A nuvem de tempestade pode ser comparada com uma única função de onda de um elétron. Como uma nuvem de tempestade, ela enche todo o espaço. Da mesma maneira, quanto maior é seu valor num ponto, maior é a probabilidade de se encontrar o elétron ali. Similarmente, funções de onda podem ser associadas a objetos grandes, como pessoas. Quando me sento em minha cadeira em Princeton, sei que tenho uma função de onda de probabilidade Schrödinger. Se eu pudesse de algum modo ver minha própria função de onda, ela iria se assemelhar a uma nuvem com forma muito parecida com a do meu corpo. No entanto, parte dela iria se espalhar pelo espaço, até Marte ou mesmo mais além do sistema solar, embora fosse ser infimamente pequena ali. Isto significa que há uma probabilidade muito grande de eu estar, de fato, sentado na minha cadeira e não no planeta Marte. Embora parte de minha função de onda tenha se espalhado além da Via Láctea, há apenas uma chance infinitesimal de que eu esteja postado em outra galáxia.

A nova ideia de Hawking foi tratar todo o universo como se ele fosse uma partícula

quântica. Repetindo alguns passos simples, somos conduzidos a conclusões surpreendentes.

Começamos com uma função de onda que descreve o *conjunto de todos os universos possíveis*. Isto significa que o ponto de partida da teoria de Hawking deve ser um conjunto infinito de universos paralelos, a *função de onda do universo*. A análise bastante simples de Hawking, substituindo a palavra *partícula* por *universo*, conduziu a uma revolução conceitual em nosso pensamento sobre cosmologia.

De acordo com essa representação, a função de onda do universo se espalha por todos os universos possíveis. Presume-se que a função de onda é bastante grande nas proximidades de nosso universo, de modo que há uma boa chance de que o nosso universo seja o correto, como esperamos. No entanto, a função de onda se espalha por todos os outros universos, até mesmo aqueles que não têm vida e são incompatíveis com as leis conhecidas da física. Como a função de onda é supostamente infimamente pequena para esses outros universos, não esperamos que nosso universo vá dar um salto quântico em direção a eles no futuro próximo.

A meta que os cosmólogos quânticos se propõem é verificar matematicamente essa conjetura, para mostrar que a função de onda do universo é grande para nosso universo atual e infimamente pequena para outros universos. Isso provaria então que nosso universo familiar é em certo sentido único e também estável. (No momento, os cosmólogos quânticos são incapazes de resolver este importante problema.)

Se levarmos Hawking a sério, isso significa que devemos começar nossa análise com um número infinito de todos os universos possíveis, coexistindo um com o outro. Para falar com clareza, a definição da palavra *universo* deixa de ser "tudo que existe". Passa a ser "tudo que pode existir". Por exemplo, na Figura 12.1 vemos como a função de onda do universo pode se espalhar por vários outros universos possíveis, sendo nosso universo o mais provável mas certamente não o único. A cosmologia quântica de Hawking supõe também que a função de onda do universo permite que os universos colidam. Buracos de minhoca podem se desenvolver e ligar esses universos. No entanto, esses buracos de minhoca não são como os que encontramos nos capítulos anteriores, que conectam diferentes partes de espaço tridimensional consigo mesmo – esses buracos de minhoca conectam diferentes universos um com o outro.

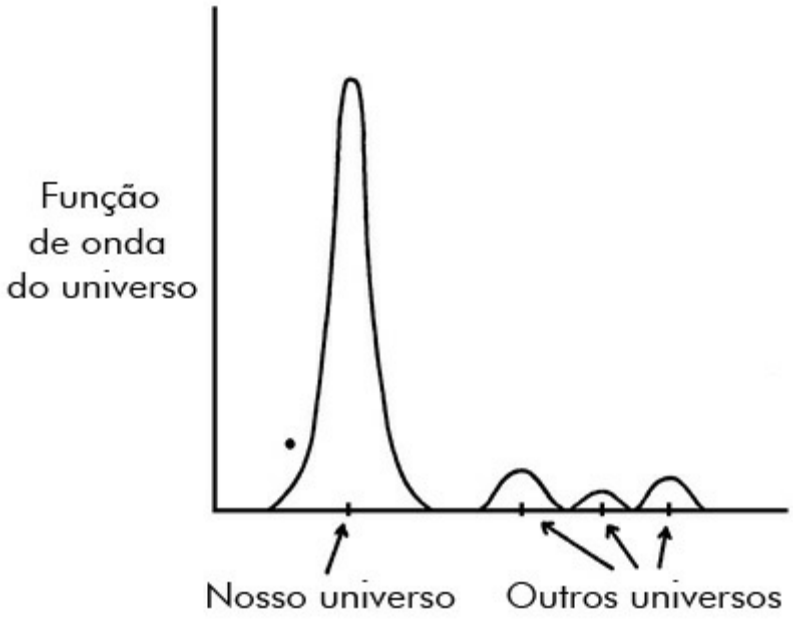


Figura 12.1. Na função de onda do universo de Hawking, a função de onda está provavelmente mais concentrada em torno do nosso universo. Vivemos no nosso universo porque ele é o mais provável, tem a maior probabilidade. No entanto, há uma pequena mas não evanescente probabilidade de que a função de onda prefira universos vizinhos, paralelos. Portanto, transições entre universos podem ser possíveis (embora com probabilidade muito baixa).

Pense, por exemplo, num grande conjunto de bolhas de sabão suspenso no ar. Normalmente, cada bolha de sabão é como um universo em si mesmo, a não ser porque periodicamente bate em outra bolha, formando uma bolha maior, ou se divide em duas bolhas menores. A diferença é que cada bolha de sabão é agora um universo de dez dimensões inteiro. Como espaço e tempo só podem existir em cada bolha, não há nada semelhante a espaço e tempo entre as bolhas. Cada universo tem seu próprio "tempo" independente. Não tem sentido dizer que o tempo passa no mesmo ritmo em todos esses universos. (Deveríamos, contudo, enfatizar que a viagem entre esses universos não está aberta para nós em razão de nosso primitivo nível tecnológico. Além disso, deveríamos enfatizar também que grandes transições quânticas nessa escala são extremamente raras, provavelmente maiores que o tempo de vida do nosso universo.) A maior parte desses universos é de universos mortos, desprovidos de qualquer vida. Nesses universos, as leis da física seriam diferentes, e portanto as condições físicas que tornariam a vida possível não seriam satisfeitas. Talvez, entre os bilhões de universos paralelos, somente um (o nosso) tenha o conjunto certo de leis físicas para permitir a vida (Figura 12.2).

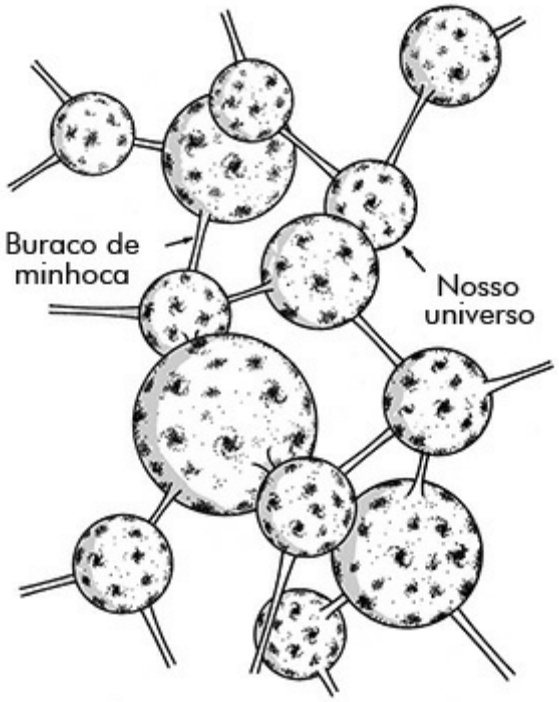


Figura 12.2. Nosso universo pode ser um de um número infinito de universos paralelos, cada um ligado aos demais por uma série infinita de buracos de minhoca. Viajar entre esses buracos de minhoca é possível mas extremamente improvável.

A teoria do "universo bebê" de Hawking, embora não um método de transporte prático, certamente suscita questões filosóficas e até religiosas. Desde já, ela estimulou dois prolongados debates entre cosmólogos.

REINTRODUZIR DEUS NO UNIVERSO?

O primeiro debate diz respeito ao *princípio antrópico*. Ao longo dos séculos, os cientistas aprenderam a ver o universo de maneira amplamente independente de tendenciosidades humanas. Nós não mais projetamos nossos preconceitos e caprichos sobre cada descoberta científica. Historicamente, contudo, cientistas antigos cometeram com frequência a falácia do antropomorfismo, que supõe que objetos e animais têm qualidades semelhantes às humanas. Esse erro é cometido por todo aquele que veja as emoções e os sentimentos humanos sendo exibidos por seus bichos de estimação. (É cometido também pelos roteiristas de Hollywood, que regularmente supõem que seres similares a nós devem povoar planetas que orbitam as estrelas no céu.)

O antropomorfismo é um problema antigo. O filósofo jônio Xenofanes certa vez lamentou: "Os homens imaginam que os deuses nasceram, e têm roupas e vozes e formas como as deles... Sim, os deuses dos etíopes são negros e têm narizes chatos, e os deuses dos trácios são ruivos e de olhos azuis." Nas últimas décadas, alguns cosmólogos ficaram horrorizados ao ver o

antropomorfismo voltando a se insinuar na ciência, sob o disfarce do princípio antrópico, alguns de cujos defensores declaram abertamente que gostariam de pôr Deus de volta na ciência.

Na verdade, há algum mérito científico nesse estranho debate sobre o princípio antrópico, que gira em torno do fato indiscutível de que se as constantes físicas do universo fossem alteradas o mínimo que fosse, a vida seria impossível. Será esse fato notável apenas uma feliz coincidência ou ele mostra a obra de um Ser Supremo?

Há duas versões do princípio antrópico. A versão "fraca" afirma que o fato de a vida inteligente (nós) existir no universo deveria ser tomado como um fato experimental que nos ajuda a compreender as constantes do universo. Como o prêmio Nobel Steven Weinberg explica, "este mundo é da maneira como é, pelo menos em parte, porque de outro modo não haveria ninguém para perguntar como ele é da maneira como é".[1] Formulada deste modo, a versão fraca do princípio antrópico é de difícil contestação.

Para ter vida no universo, você precisa de uma rara conjunção de muitas coincidências. A vida, que depende de uma variedade de reações bioquímicas complexas, pode ser facilmente inviabilizada se mudarmos algumas das constantes da química e da física por uma pequena quantidade. Por exemplo, se as constantes que governam a física nuclear fossem alteradas, mesmo ligeiramente, a nucleossíntese e a criação dos elementos pesados nas estrelas e supernovas poderiam se tornar impossíveis. Os átomos poderiam se tornar instáveis ou sua criação nas supernovas impossível. A vida depende dos elementos pesados (elementos além do ferro) para a criação do DNA e de moléculas de proteínas. Assim, a mais ligeira mudança na física nuclear tornaria impossível a produção dos elementos pesados nas estrelas. Somos filhos das estrelas; no entanto, se as leis da física nuclear mudarem o mais ligeiramente que seja, nossos "pais" tornam-se incapazes de ter "filhos" (nós). Como mais um exemplo, é seguro dizer que a criação da vida nos oceanos primitivos levou 1 bilhão a 2 bilhões de anos. No entanto, se pudéssemos de algum modo encolher o tempo de vida do próton a vários milhões de anos, a vida se tornaria impossível. Não teria havido tempo suficiente para a criação da vida partir de colisões aleatórias de moléculas.

Em outras palavras, o próprio fato de existirmos no universo para fazer essas perguntas a respeito dele significa que uma complexa sequência de eventos deve necessariamente ter acontecido. Significa que as constantes físicas da natureza devem ter uma certa extensão de valores, de tal modo que as estrelas vivessem o suficiente para criar os elementos pesados em nossos corpos, de modo que os prótons não se desintegrassem rápido demais antes que a vida tivesse a chance de germinar, e assim por diante. Em outras palavras, a existência de seres

humanos capazes de fazer perguntas sobre o universo impõe um enorme número de rígidos vínculos à física do universo – por exemplo, sua idade, sua composição química, sua temperatura, seu tamanho e seus processos físicos.

Numa observação sobre essas coincidências cósmicas, o físico Freeman Dyson escreveu certa vez: "Quando consideramos o universo e identificamos os muitos acidentes de física e astronomia que trabalham juntos em nosso benefício, temos quase a impressão de que o universo deve de certo modo ter sabido que nós estávamos vindo." Isto nos leva à versão "forte" do princípio antrópico, que afirma que todas as constantes físicas do universo foram precisamente escolhidas (por Deus ou algum Ser Superior) de tal modo que a vida fosse possível em nosso universo. A versão forte, por suscitar questões sobre Deus, é muito mais controversa entre os cientistas.

Seria concebível pensar numa sorte cega se apenas algumas constantes da natureza tivesssem tido de assumir certos valores para tornar a vida possível. No entanto, revela-se que um grande conjunto de constantes físicas teve de assumir uma estreita faixa de valores para que a vida pudesse se formar no nosso universo. Uma vez que acidentes desse tipo são extremamente improváveis, talvez uma inteligência divina (Deus) tenha escolhido valores precisamente para criar a vida.

Quando os cientistas ouvem pela primeira vez alguma versão do princípio antrópico, ficam imediatamente pasmos. O físico Heinz Pagels recorda: "Aqui estava uma forma de raciocínio completamente alheia à maneira habitual que os físicos teóricos adotam em seus procedimentos."[2]

O argumento antrópico é a versão mais sofisticada do velho argumento de que Deus pôs a Terra à exata distância do Sol. Se Deus tivesse posto a Terra perto demais, ela teria sido quente demais para suportar a vida. Se Deus a tivesse posto longe demais, ela teria sido fria demais. A falácia deste argumento é que milhões de planetas na galáxia estão provavelmente situados a distância incorreta de seu sol, e portanto a vida neles é impossível. No entanto, alguns planetas vão, por puro acidente, estar a distância correta de seu sol. Nosso planeta é um deles, e por isso estamos aqui para discutir a questão.

Finalmente, a maioria dos cientistas se desiludiu com o princípio antrópico porque ele não tem poder preditivo, nem pode ser testado. Pagels concluiu com relutância que "diferentemente dos princípios da física, ele não fornece nenhum meio para se determinar se é correto ou errado; não há meio de testá-lo. Diferentemente dos princípios físicos, o princípio antrópico não é sujeito a refutação experimental – o sinal seguro de que não é um princípio científico".[3] O físico Alan Guth disse com franqueza: "Emocionalmente, o princípio

antrópico me deixa um tanto irritado... O princípio antrópico é algo que as pessoas fazem quando não conseguem pensar em nada melhor para fazer."[4]

Para Richard Feynman, a meta de um físico teórico é "provar que ele próprio está errado tão rápido quanto possível".[5] Contudo, o princípio antrópico é estéril e não pode ser refutado. Ora, como disse Weinberg, "embora a ciência seja claramente impossível sem cientistas, não está claro que o universo seja impossível sem ciência".[6]

O debate sobre o princípio antrópico (e portanto sobre Deus) ficou adormecido por muitos anos, até ser recentemente revivido pela função de onda do universo de Hawking. Se Hawking estiver certo, há de fato um número infinito de universos paralelos, muitos com constantes físicas diferentes. Em alguns deles, talvez, os prótons decaiam rapidamente demais, ou as estrelas não possam produzir os elementos pesados além do ferro, ou o Big Crunch ocorra rapidamente demais, antes que a vida possa começar, e assim por diante. De fato, um número infinito desses universos paralelos está morto, sem as leis físicas que podem tornar possível a vida tal como a conhecemos.

Em um desses universos paralelos (o nosso), as leis físicas foram compatíveis com a vida tal como a conhecemos. A prova é que estamos hoje aqui para discutir a matéria. Se isto é verdade, então talvez não seja necessário evocar Deus para explicar por que a vida, preciosa como ela é, é possível em nosso universo. No entanto, isso reabre a possibilidade do princípio antrópico fraco – isto é, o de que coexistimos com muitos universos mortos, e de que o nosso é o único compatível com a vida.

A segunda controvérsia estimulada pela função de onda de Hawking é muito mais profunda e de fato ainda continua sem solução. É chamada o problema do gato de Schrödinger.

O GATO DE SCHRÖDINGER REVISITADO

Como a teoria de Hawking de universos bebês e buracos de minhoca usa o poder da teoria quântica, ela reabre inevitavelmente os debates ainda sem solução concernentes aos fundamentos desta. A função de onda do universo de Hawking não resolve por completo os paradoxos da teoria quântica; somente os expressa sob uma luz nova e surpreendente.

A teoria quântica, como nos lembramos, afirma que para cada objeto há uma função de onda que mede a probabilidade de encontrar o objeto num certo ponto no espaço e tempo. A teoria quântica afirma também que nunca sabemos realmente qual é o estado de uma partícula até que tenhamos feito uma observação. Antes que uma medição seja feita, a partícula pode estar em um de uma variedade de estados, descritos pela função de onda de Schrödinger.

Assim, antes que uma observação ou medida possa ser feita, não podemos realmente conhecer o estado da partícula. De fato, a partícula existe num estado inferior, uma soma de todos os estados possíveis, até que uma medição seja feita.

Quando esta ideia foi proposta pela primeira vez por Niels Bohr e Werner Heisenberg, Einstein revoltou-se contra esse conceito: "Será que a Lua só existe porque um rato olha para ela?", ele gostava de perguntar. De acordo com a estrita interpretação da teoria quântica, a Lua, antes de ser observada, não existe tal como a conhecemos. A Lua pode estar, de fato, em qualquer um de um número infinito de estados, incluindo o estado de estar no céu, de estar cheia, ou de não estar ali em absoluto. É o processo de mensuração de olhar para ela que conclui que a Lua está realmente orbitando a Terra.

Einstein teve muitas discussões acaloradas com Niels Bohr contestando essa visão heterodoxa de mundo. (Numa troca de palavras, Bohr disse a Einstein, exasperado: "Você não está pensando. Está meramente sendo lógico!")[7] Até Erwin Schrödinger (que iniciou toda a discussão com sua célebre equação de onda) protestou contra essa reinterpretação de sua equação. Certa vez lamentou: "Não gosto disso, e lamento ter tido algum dia algo a ver com isso."[8]

Para contestar essa interpretação revisionista, os críticos perguntavam: "Um gato está vivo ou morto antes que você olhe para ele?"

Para mostrar o quanto esta questão é absurda, Schrödinger meteu um gato imaginário numa caixa lacrada. O gato está de frente para um revólver, que está ligado a um contador Geiger, que por sua vez está ligado a um pedaço de urânio. O átomo de urânio é instável e sofrerá desintegração radioativa. Se um núcleo de urânio se desintegrar, isso será detectado pelo contador Geiger, que vai então disparar o revólver, cuja bala vai matar o gato.

Para decidir se o gato está vivo ou morto, temos de abrir a caixa e observar o gato. No entanto, qual é o estado do gato antes de abrirmos a caixa? Segundo a teoria quântica, podemos afirmar apenas que o gato é descrito por uma função de onda que descreve a soma de um gato morto e de um gato vivo.

Para Schrödinger, a ideia de pensar sobre gatos que não estavam nem mortos nem vivos era o cúmulo do absurdo, no entanto a confirmação experimental da mecânica quântica nos força a essa conclusão. Até o momento, todos os experimentos confirmaram a teoria quântica.

O paradoxo do gato de Schrödinger é tão esquisito que muitas vezes somos levados a lembrar a reação de Alice diante do gato de Cheshire que desaparecia na fábula de Lewis Carroll: "'Você vai me ver lá', disse o Gato, e desapareceu. Alice não ficou muito surpresa diante disso, estava se acostumando a ver coisas estranhas acontecendo." Ao longo dos anos,

os físicos também se acostumaram a ver coisas "estranhas" acontecendo na mecânica quântica.

Há pelo menos três maneiras principais pelas quais os físicos lidam com essa complexidade. Primeiro, podemos admitir que Deus existe. Como todas as "observações" implicam um observador, deve haver alguma "consciência" no universo. Alguns físicos, como o prêmio Nobel Eugene Wigner, insistiram em que a teoria quântica prova a existência de algum tipo de consciência universal cósmica no universo.

A segunda maneira de lidar com o paradoxo tem a preferência da vasta maioria dos físicos praticantes – ignorar o problema. A maioria dos físicos, constatando que uma câmara sem nenhuma consciência também pode fazer medidas, simplesmente deseja que esse problema espinhoso, mas inevitável, desapareça.

O físico Richard Feynman disse certa vez: "Acho que é seguro dizer que ninguém compreende a mecânica quântica. Se puder evitar, não fique dizendo para você mesmo, 'Mas como tal coisa pode ser de tal jeito?' porque você vai se debater num beco sem saída do qual ninguém escapou até hoje. Ninguém sabe como a coisa pode ser de tal jeito."[9] De fato, afirma-se muitas vezes que, de todas as teorias propostas neste século, a mais tola é a teoria quântica. Alguns dizem que a única coisa que a teoria quântica tem a seu favor é o fato de ser inquestionavelmente correta.

Contudo, há uma terceira maneira de lidar com esse paradoxo, chamada a *teoria dos muitos mundos*. Essa teoria (como o princípio antrópico) caiu em desfavor nas últimas décadas, mas está sendo revivida pela função de onda do universo de Hawking.

MUITOS MUNDOS

Em 1957, o físico Hugh Everett levantou a possibilidade de que, durante a sua evolução, o universo tenha se "dividido" pela metade continuamente, como uma bifurcação numa estrada. Num universo, o átomo de urânio não se desintegra e o gato não foi baleado. Em outro, o átomo de urânio realmente se desintegra e o gato foi morto. Se Everett estiver correto, há um número infinito de universos. Cada universo está ligado a todos os outros através da rede de bifurcações na estrada. Ou, como o escritor argentino Jorge Luis Borges escreveu em *Jardín de senderos que se bifurcan,* "o tempo se bifurca perpetuamente rumo a inumeráveis futuros".

O físico Bryce DeWitt, um dos proponentes da teoria dos muitos mundos, descreve o duradouro impacto que ela teve sobre ele: "Toda transição quântica que ocorre em todas as estrelas, em todas as galáxias, em todos os confins do universo está dividindo nosso mundo local na Terra em miríades de cópias de si mesmo. Ainda me lembro vividamente do choque

que experimentei ao me defrontar pela primeira vez com esse conceito de múltiplos mundos."[10] A teoria dos muitos mundos postula que *todos* os mundos quânticos possíveis existem. Em alguns mundos, seres humanos existem como forma de vida dominante na terra. Em outros mundos, ocorreram eventos subatômicos que impediram os seres humanos de evoluírem nesse planeta.

Como o físico Frank Wilczek observou,

> Diz-se que a história do mundo seria inteiramente diferente se Helena de Troia tivesse uma verruga na ponta do nariz. Bem, verrugas podem surgir de mutações em células únicas, muitas vezes desencadeadas pelos raios ultravioleta do sol. Conclusão: há muitos, muitos mundos em que Helena de Troia tinha de fato uma verruga na ponta do nariz.[11]

Na verdade, a ideia de que pode haver múltiplos universos é antiga. O filósofo são Alberto Magno certa vez escreveu: "Existirão muitos mundos, ou só há um único mundo? Esta é uma das mais nobres e exaltadas questões no estudo da Natureza." No entanto, a nova peculiaridade na antiga ideia é que esses muitos mundos resolvem o paradoxo do gato de Schrödinger. Em um universo, o gato pode estar morto; em outro, o gato está vivo.

Por estranha que a teoria dos muitos mundos de Everett possa parecer, pode-se mostrar que ela é matematicamente equivalente às interpretações habituais da teoria quântica. Tradicionalmente, porém, a teoria dos muitos mundos de Everett não foi bem aceita entre os físicos. Embora ela não possa ser descartada, a ideia de um número *infinito* de universos igualmente válidos, cada um se fissionando em dois a cada instante no tempo, propõe um pesadelo filosófico para os físicos, que gostam de simplicidade. Há um princípio da física chamado navalha de Occam, que declara que deveríamos sempre tomar o caminho mais simples e ignorar alternativas mais desajeitadas, especialmente se estas nunca podem ser medidas. (Assim, a navalha de Occam descarta as antigas teorias do "éter", que afirmavam que um misterioso gás outrora impregnou o universo inteiro. A teoria do éter fornecia uma resposta conveniente para uma questão embaraçosa: se a luz é uma onda, e a luz pode se propagar no vácuo, então o que está ondulando? A resposta era que o éter, como um fluido, estava vibrando mesmo num vácuo. Einstein mostrou que o éter era desnecessário. No entanto, ele nunca disse que o éter não existia. Afirmou meramente que ele era irrelevante. Assim, pela navalha de Occam, os físicos não se referem mais ao éter.)

É possível mostrar que a comunicação entre os muitos mundos de Everett não é possível. Portanto, cada universo ignora a existência dos demais. Se não é possível testar a existência desses mundos por meio de experimentos, deveríamos, pela navalha de Occam, eliminá-los.

Mais ou menos no mesmo espírito, os físicos não afirmam categoricamente que anjos e

milagres não podem existir. Talvez existam. Mas milagres, quase por definição, não são repetíveis e por isso não são mensuráveis por experimento. Portanto, pela navalha de Occam, devemos descartá-los (a menos, é claro, que possamos encontrar um milagre ou um anjo reproduzível, mensurável). Um dos responsáveis pela teoria dos muitos mundos, John Wheeler, mentor de Everett, rejeitou-a com relutância porque "ela exigia bagagem metafísica demais para se carregar por aí".[12]

A impopularidade da teoria dos muitos mundos, no entanto, pode se reduzir à medida que a função de onda do universo de Hawking ganhar popularidade. A teoria de Everett era baseada em partículas únicas, sem nenhuma possibilidade de comunicação entre os diferentes universos à medida que eles se fissionavam. No entanto, a teoria de Hawking, embora relacionada, vai muito mais longe: ela se fundamenta num número infinito de universos independentes (e não apenas partículas) e postula a possibilidade de tunelamento (via buracos de minhoca) entre eles.

Hawking chegou até a empreender a desalentadora tarefa de calcular a solução para a função de onda do universo. Ele tem confiança na correção dessa abordagem em parte porque a teoria é bem definida (se, como mencionamos, a teoria for finalmente definida em dez dimensões). Sua meta é mostrar que a função de onda do universo assume um valor elevado nas proximidades de um universo que se assemelha ao nosso. Assim nosso universo é o universo mais provável, mas certamente não o único.

Até agora, houve um certo número de conferências internacionais sobre a função de onda do universo. No entanto, como antes, a matemática envolvida na função de onda do universo está além da capacidade de cálculo de qualquer ser humano neste planeta, e talvez tenhamos de esperar anos antes que um indivíduo cheio de iniciativa possa encontrar uma solução rigorosa para as equações de Hawking.

MUNDOS PARALELOS

A principal diferença entre a teoria dos muitos mundos de Everett e a função de onda do universo de Hawking é que a teoria de Hawking situa buracos de minhoca, que conectam esses universos paralelos no centro de sua teoria. No entanto, não há por que imaginar que um dia, chegando em casa do trabalho, você vai abrir a porta, entrar num universo paralelo e descobrir que sua família nunca ouviu falar de você. Em vez de correr ao seu encontro depois do seu árduo dia de trabalho, sua família está em pânico, gritando sobre um invasor, e manda prendê-lo por invasão de domicílio. Esse tipo de enredo só acontece na televisão ou nos

filmes. Na abordagem de Hawking, os buracos de minhoca de fato conectam constantemente nosso universo com bilhões e mais bilhões de universos paralelos, mas o tamanho desses buracos de minhoca é na média extremamente pequeno, aproximadamente o tamanho do comprimento de Planck (cerca de 100 bilhões de bilhões de vezes menor que um próton, pequeno demais para a viagem humana). Além disso, como grandes transições quânticas entre esses universos são infrequentes, podemos ter de esperar um longo tempo, maior que o tempo de vida do universo, antes que um evento como esse se produza.

Assim é perfeitamente coerente com as leis da física (embora *extremamente* improvável) que alguém possa penetrar num universo gêmeo que é precisamente como o nosso, exceto por uma pequena e decisiva diferença, criada em algum ponto no tempo quando os dois universos foram separados.

Esse tipo de mundo paralelo foi explorado por John Wyndham no conto "Random Quest". Colin Trafford, um físico nuclear inglês, quase é morto em 1954 quando um experimento nuclear explode. Em vez de terminar no hospital, ele acorda, sozinho e sem nenhum ferimento, numa parte remota de Londres. Fica aliviado ao ver que tudo parece normal, mas logo descobre que há algo de muito errado. As manchetes dos jornais são todas impossíveis. A Segunda Guerra Mundial nunca aconteceu. A bomba atômica nunca foi descoberta.

A história do mundo fora torcida. Além disso, ele lança os olhos para uma loja e percebe seu próprio nome, com seu retrato, como o autor de um sucesso de vendas. Está chocado. Uma exata contrapartida de si mesmo existe neste mundo paralelo como um escritor em vez de um físico nuclear!

Estará ele sonhando tudo isso? Anos antes, ele pensara certa vez em tornar-se um escritor, mas acabara por escolher tornar-se um físico nuclear. Ao que parecia, neste universo paralelo escolhas diferentes haviam sido feitas no passado.

Trafford examina o catálogo de telefones de Londres e descobre seu nome listado, mas o endereço está errado. Trêmulo, decide visitar "sua" casa.

Ao entrar em "seu" apartamento, fica chocado por conhecer "sua" mulher – alguém que nunca vira antes –, uma mulher bonita e acrimoniosa, que está em fúria com "seus" numerosos casos com outras mulheres. Ela "o" censura por suas indiscrições extramaritais, mas percebe que o marido parece confuso. Sua contrapartida, Trafford descobre, é um sujeito sem princípios e mulherengo. No entanto, parece-lhe difícil discutir com uma bela estranha que nunca viu antes, ainda que ela venha a ser "sua" esposa. Ao que parece, ele e sua contrapartida trocaram de universo.

Pouco a pouco ele se vê se apaixonando por "sua" própria mulher. Não pode entender

como sua contrapartida pôde ter tratado sua adorável esposa de maneira tão indigna. As semanas que passaram juntos em seguida foram as melhores de suas vidas. Ele decide anular todo o mal que sua contrapartida inflingira em sua mulher ao longo dos anos. Depois, exatamente quando os dois estão se redescobrindo um ao outro, ele é subitamente puxado de volta para seu universo, deixando "seu" amor para trás. Jogado de volta em seu próprio universo, contra a vontade, ele inicia uma busca frenética para encontrar "sua" esposa. Descobriu que a maioria, mas não todas, das pessoas de seu próprio universo tem uma contrapartida no outro. Com certeza, ele raciocina, "sua" mulher deve ter uma contrapartida em seu próprio mundo.

Fica obcecado, perseguindo todas as pistas do universo gêmeo de que se lembra. Usando todo o seu conhecimento de história e física, conclui que dois mundos divergiram um do outro por causa de algum evento crucial em 1926 ou 1927. Um único evento, ele raciocina, deve ter dividido os dois universos.

Levanta então meticulosamente os registros de nascimento e morte de várias famílias. Gasta as economias que lhe sobram entrevistando um grande número de pessoas até que localiza a árvore da família da "sua" mulher. Finalmente, consegue encontrar a pista da "sua" mulher em seu próprio universo. No fim, casa-se com ela.

ATAQUE DOS BURACOS DE MINHOCA GIGANTES

Um físico de Harvard que se envolveu até o pescoço com os buracos de minhoca é Sidney Coleman. Parecendo um cruzamento de Woody Allen com Albert Einstein, ele caminha desajeitadamente pelos corredores do Jefferson Hall, tentando convencer os céticos de sua última teoria dos buracos de minhoca. Com seu bigode chapliniano, seu cabelo arrepiado como o de Einstein e seu suéter de malha de algodão grande demais, Coleman chama a atenção em qualquer multidão. Agora ele afirma ter resolvido o célebre problema da constante cosmológica, que vem intrigando os físicos nos últimos oitenta anos.

Seu trabalho chegou até a ser capa da *Discover Magazine*, com um artigo intitulado "Parallel Universes: The New Reality – From Harvard's Wildest Physicist". Ele é fanático também por ficção científica; um sério fã de ficção científica, chegou a ser um dos cofundadores da Advent Publishers, que publica livros de crítica à ficção científica.

No momento, Coleman é alvo da intensa atenção dos críticos, que dizem que os cientistas não serão capazes de verificar as teorias dos buracos de minhoca na duração de nossas próprias vidas. Se acreditamos nos buracos de minhoca de Thorne, temos de esperar até que

alguém descubra matéria exótica ou domine o efeito Casimir. Até então, nossas máquinas do tempo não terão "motor" capaz de nos arremessar no passado. Da mesma maneira, se acreditamos nos buracos de minhoca de Hawking, temos de viajar no "tempo imaginário" para poder viajar entre buracos de minhoca. De uma maneira ou de outra, é uma situação muito triste para o físico teórico comum, que se sente frustrado com a tecnologia inadequada, fraca, do século XX e que pode somente sonhar em explorar a energia de Planck.

É aí que o trabalho de Coleman entra. Recentemente ele afirmou que os buracos de minhoca poderiam fornecer um resultado muito tangível, muito mensurável no presente, e não em algum futuro distante, imprevisível. Como assinalamos antes, as equações de Einstein afirmam que o conteúdo de matéria-energia de um objeto determina a curvatura do espaço-tempo em torno dele. Einstein se perguntava se o puro vácuo do espaço vazio podia conter energia. É o puro vazio desprovido de energia? A energia do vácuo é medida por algo chamado a *constante cosmológica*; em princípio, não há nada que impeça que uma constante cosmológica apareça nas equações. Einstein achava essa expressão esteticamente feia, mas não foi capaz de bani-la em bases físicas ou matemáticas.

Na década de 1920, quando tentou resolver suas equações para o universo, Einstein descobriu, para seu grande dissabor, que o universo estava se expandindo. Naquela época, segundo a crença dominante, o universo era estático e imutável. Para "remendar" suas equações e impedir a expansão do universo, Einstein inseriu uma minúscula constante cosmológica em sua solução, escolhida de modo a compensar exatamente a expansão e fornecendo um universo estático por *fiat*. Em 1929, Hubble provou conclusivamente que o universo estava de fato se expandindo. Einstein baniu a constante cosmológica e disse que ela tinha sido "a maior tolice de minha vida".

Hoje, sabemos que a constante cosmológica é muito próxima de zero. Se houvesse uma pequena constante cosmológica negativa, a gravidade seria poderosamente atrativa e o universo inteiro poderia medir, digamos, alguns metros. (Estendendo a mão você seria capaz de agarrar a pessoa à sua frente, que viria a ser você mesmo.) Se houvesse uma pequena constante cosmológica positiva, a gravidade seria repulsiva e todas as coisas estariam fugindo de você com tal rapidez que a luz que emitissem nunca o atingiria. Como nenhum desses cenários de pesadelo ocorre, temos certeza de que a constante cosmológica é extremamente pequena ou até zero.

Mas esse problema veio à tona na década de 1970, quando a quebra de simetria estava sendo intensamente estudada no Modelo Padrão e na teoria GUT. Sempre que uma simetria é quebrada, uma grande quantidade de energia é descarregada no vácuo. De fato, a quantidade

de energia que inunda o vácuo é 10^{100} vezes maior que a quantidade experimentalmente observada. Em toda a física, essa discrepância de 10^{100} é inquestionavelmente a maior. Em nenhum lugar na física vemos uma divergência tão grande entre a teoria (que prevê uma grande energia de vácuo sempre que uma simetria é quebrada) e o experimento (que mede a constante cosmológica zero no universo). Foi daí que surgiram os buracos de minhoca de Coleman; eles são necessários para cancelar as contribuições indesejadas à constante cosmológica.

Segundo Hawking, pode haver um número infinito de universos alternativos coexistindo com o nosso, todos os quais estão conectados por uma infinita teia de buracos de minhocas interligados. Coleman tentou adicionar a contribuição dessa série infinita. Efetuada a soma, ele encontrou um resultado surpreendente: a função de onda do universo prefere ter uma constante cosmológica zero, como desejado. Se a constante cosmológica fosse zero, a função de onda se tornaria excepcionalmente grande, significando que há uma alta probabilidade de se encontrar um universo com constante cosmológica zero. Além disso, a função de onda do universo desaparecia rapidamente se a constante cosmológica se tornasse diferente de zero, significando que havia zero probabilidade desse universo indesejado. Isso era exatamente o necessário para cancelar a constante cosmológica. Em outras palavras, a constante cosmológica era zero porque esse era o resultado mais provável. O único efeito de ter bilhões e mais bilhões de universos paralelos era manter a constante cosmológica zero em nosso universo.

Como esse era um resultado tão importante, os físicos começaram imediatamente a saltar nesse campo. “Quando Sidney apareceu com esse trabalho todo mundo pulou”, lembra o físico de Stanford Leonard Susskind.[13] Em sua típica maneira travessa, Coleman publicou seu resultado potencialmente importante com uma pitada de humor. “É sempre possível que, sem saber, eu esteja metido até o pescoço em areia movediça e afundando rapidamente”, escreveu ele.[14]

Coleman gosta de impressionar intensamente suas plateias com a importância desse problema, a saber, que as chances de cancelar uma constante cosmológica com uma precisão de uma parte em 10^{100} são fantasticamente pequenas. “Imagine que em um período de dez anos você gaste milhões de dólares sem olhar para o seu salário, e quando finalmente compara o que ganhou com o que gastou, vê que eles se equilibram até o último centavo”, observa.[15] Assim seu cálculo, que mostra que se pode cancelar a constante cosmológica com uma precisão uma parte em 10^{100}, está realmente longe de ser um resultado qualquer. Para dar ainda mais realce ao feito, Coleman enfatiza que esses buracos de minhoca resolvem também outro problema: ajudam a determinar os valores das constantes fundamentais do universo.

Coleman acrescenta: “Foi um mecanismo completamente diferente de qualquer um dos que haviam sido considerados. Foi Batman balançando na sua corda.”[16]

Mas críticas também começaram a emergir; as críticas mais persistentes eram de que ele supôs que os buracos de minhoca eram pequenos, da ordem do comprimento de Planck, e de que se esqueceu de somar buracos de minhoca grandes. Segundo os críticos, buracos de minhoca grandes também deveriam ter sido incluídos na soma. Mas como não vemos buracos de minhoca grandes, visíveis, em parte alguma, parece que seu cálculo tem uma falha fatal.

Sem se embaraçar com essas críticas, Coleman disparou de volta de sua maneira costumeira: escolhendo títulos ultrajantes para seus artigos. Para provar que grandes buracos de minhoca podem ser negligenciados em seu cálculo, escreveu uma refutação a seus críticos com o título “Escape from the Menace of the Giant Wormholes” (“Evitando a ameaça de buracos de minhoca gigantes”). Quando perguntado pelos seus títulos, ele respondia: “Se títulos valessem prêmios Nobel, eu já teria conseguido o meu.”[17]

Se estiverem corretos, os argumentos puramente matemáticos de Coleman forneceriam indícios experimentais consistentes de que buracos de minhoca são uma característica essencial de todos os processos físicos, e não apenas uma noção fantástica. Isso significaria que buracos de minhoca ligando nosso universo com um número infinito de universos mortos são essenciais para impedir que nosso universo se enrole numa bolinha minúscula, apertada, ou sofra uma explosão em taxas fantásticas. Significaria que buracos de minhoca são a característica essencial que torna nosso universo relativamente estável.

Mas, como a maioria dos desenvolvimentos que ocorrem no comprimento de Planck, a solução final para essas equações dos buracos de minhoca terá de esperar até que tenhamos uma melhor compreensão da gravidade quântica. Muitas das equações de Coleman exigem um meio de eliminar as infinidades comuns a todas as teorias quânticas da gravidade, e isso significa usar a teoria das supercordas. Em particular, podemos ter de esperar até que possamos calcular com confiança correções quânticas finitas para essa teoria. Muitas dessas estranhas previsões vão ter de esperar até que possamos afiar nossos instrumentos de cálculo.

Como enfatizamos, o problema é principalmente teórico. Simplesmente não temos capacidade matemática para solucionar esses problemas bem definidos. As equações olham para nós do quadro-negro, mas não temos como encontrar soluções rigorosas, finitas, para elas no presente. Uma vez que os físicos tenham uma melhor compreensão da física na energia de Planck, todo um universo de possibilidades se abrirá. Qualquer pessoa, ou qualquer civilização, que domine verdadeiramente a energia encontrada no comprimento de Planck vai se tornar senhor de todas as forças fundamentais. Este é o próximo tópico para o qual vamos

nos voltar. Quando podemos esperar nos tornar senhores do hiperespaço?

PARTE IV

Senhores do hiperespaço

13

Além do futuro

> O que significa para uma civilização ter um milhão de anos? Temos radiotelescópios e naves espaciais há algumas décadas; nossa civilização técnica tem algumas centenas de anos... uma civilização avançada com milhões de anos está tão acima de nós como estamos acima de um galago ou de um macaco.
>
> Carl Sagan

O físico Paul Davies fez certa vez um comentário sobre o que devemos esperar uma vez que tenhamos decifrado os mistérios da unificação de todas as forças numa única superforça. Ele escreveu que

> poderíamos mudar a estrutura do espaço e tempo, atar nossos próprios nós no nada e construir matéria por encomenda. O controle da superforça iria nos permitir construir e transmutar partículas à vontade, gerando assim formas exóticas de matéria. Poderíamos até ser capazes de manipular a dimensionalidade do próprio espaço, criando bizarros mundos artificiais com propriedades inimagináveis. Verdadeiramente seríamos os senhores do universo.[1]

Quando podemos esperar tirar proveito do poder do hiperespaço? A verificação experimental da teoria do hiperespaço, pelo menos indireta, pode vir no século XXI. No entanto, a escala de energia necessária para manipular (e não apenas verificar) o espaço-tempo de dez dimensões, para nos tornarmos "senhores do universo", está muitos séculos adiante da tecnologia atual. Como vimos, enormes quantidades de matéria-energia são necessárias para operar feitos quase milagrosos, tais como criar buracos de minhoca e alterar a direção do tempo.

Para sermos senhores das dez dimensões, ou encontramos na galáxia vida inteligente que já tenha dominado esses níveis de energia astronômicos, ou lutamos por muitos milhares de anos ainda antes de atingirmos essa capacidade nós mesmos. Por exemplo, nossos atuais aceleradores de partículas podem elevar a energia de uma partícula a mais de 1 trilhão de elétrons-volt (a energia criada se um elétron fosse acelerado por um trilhão de volts). O maior acelerador está atualmente localizado em Genebra, na Suíça, e é operado por um consórcio de 14 nações europeias. Mas essa energia empalidece diante da energia necessária para investigar o hiperespaço: 10^{19} bilhões de elétrons-volt, ou um quatrilhão de vezes mais que a energia que poderia ser produzida pelo SSC.

Um quatrilhão (1 seguido por quinze zeros) pode parecer um número impossivelmente grande. A tecnologia necessária para investigar essa energia incrível pode exigir aceleradores de partículas com bilhões de quilômetros de comprimento, ou uma tecnologia completamente

nova. Mesmo que consumíssemos todo o Produto Nacional Bruto do mundo e construíssemos um acelerador de partículas superpoderoso, não seríamos capazes de chegar perto dessa energia. À primeira vista, parece uma tarefa impossível utilizar esse nível de energia.

No entanto, esse número não parece tão absurdamente grande se compreendermos que a tecnologia se expande *exponencialmente*, o que é difícil para nossas mentes assimilar. Para compreender o quanto o crescimento exponencial é rápido, imagine uma bactéria que se divide pela metade a cada 30 minutos. Se nada inibir seu crescimento, dentro de algumas semanas essa única bactéria vai produzir uma colônia que terá o mesmo peso do planeta Terra.

Embora os seres humanos tenham existido neste planeta por talvez dois milhões de anos, a rápida escalada para a civilização moderna nos últimos duzentos anos foi possível devido ao fato de que o crescimento do conhecimento científico é exponencial; isto é, seu ritmo de expansão é proporcional ao quanto já é conhecido. Quanto mais sabemos, mais rapidamente podemos saber mais. Por exemplo, desde a Segunda Guerra Mundial acumulamos mais conhecimento que todo aquele reunido em nossos dois milhões de anos de evolução neste planeta. De fato, a quantidade de conhecimento que nossos cientistas adquirem dobra em aproximadamente dez a vinte anos.

Torna-se assim importante analisar nosso próprio desenvolvimento historicamente. Para apreciar como a tecnologia pode crescer exponencialmente, vamos analisar nossa própria evolução, focalizando estritamente a energia disponível ao ser humano médio. Isto ajudará a pôr a energia necessária para explorar a teoria das dez dimensões na perspectiva histórica adequada.

O PROGRESSO EXPONENCIAL DA CIVILIZAÇÃO

Hoje, podemos não pensar nada sobre fazer um passeio num domingo num carro com um motor de 200 cavalos. Mas a energia disponível para o ser humano médio durante a maior parte de nossa evolução neste planeta foi consideravelmente menor.

Durante esse período, a fonte de energia básica era a força de nossas próprias mãos, cerca de um oitavo de um cavalo-vapor. Os seres humanos vagavam pela terra em pequenos bandos, caçando e coletando em busca de comida em chusmas muito parecidas com as dos animais, usando apenas a energia de seus próprios músculos. De um ponto de vista energético, isso mudou apenas nos últimos 100.000 anos. Com a invenção de ferramentas manuais, os seres humanos puderam ampliar a força de seus membros. Lanças ampliaram a força de seus braços, clavas a força de seus punhos e facas o poder de seus maxilares. Nesse período, seu

rendimento energético dobrou para cerca de um quarto de um cavalo-vapor.

Nos cerca de 10.000 anos seguintes, o rendimento energético de um ser humano dobrou novamente. A principal razão dessa mudança foi provavelmente o fim da idade do gelo, que havia retardado o desenvolvimento humano por milhares de anos.

A sociedade humana, que consistiu em pequenos bandos de caçadores e coletores por centenas de milhares de anos, mudou com a descoberta da agricultura logo depois que o gelo derreteu. Bandos errantes de seres humanos, não tendo que perseguir caça através das planícies e florestas, fixaram-se em aldeias estáveis onde os produtos agrícolas podiam ser colhidos ao longo do ano. Além disso, com o derretimento da camada de gelo veio a domesticação de animais como cavalos e bois; a energia disponível para um ser humano se elevou para aproximadamente 1 cavalo-vapor.

Com o início de uma vida estratificada, agrária, veio a divisão do trabalho, até que a sociedade sofreu uma importante mudança: a transição para uma sociedade escravista. Isso significou que uma pessoa, o proprietário de escravos, podia controlar a energia de centenas de homens. Esse súbito aumento em energia tornou possível uma brutalidade desumana; também tornou possível as primeiras verdadeiras cidades, onde reis podiam obrigar seus escravos a usar grandes gruas, alavancas e polias para erguer fortalezas e monumentos para eles próprios. Por causa desse aumento energético, templos, torres, pirâmides e cidades surgiram dos desertos e das florestas.

De um ponto de vista energético, para cerca de 99,99% da existência da humanidade neste planeta, o nível tecnológico de nossa espécie estava apenas um degrau acima do dos animais. Foi somente nas últimas centenas de anos que os seres humanos passaram a ter mais do que 1 cavalo-vapor à sua disposição.

Uma mudança decisiva veio com a Revolução Industrial. A descoberta da lei universal da gravidade e do movimento por Newton tornou possível reduzir a mecânica a um conjunto de equações bem definidas. Assim, a teoria clássica da força gravitacional de Newton, em certo sentido, abriu caminho para a moderna teoria das máquinas. Isso ajudou a tornar possível o uso generalizado de máquinas movidas a vapor no século XIX; com o vapor, o ser humano médio podia controlar de dezenas a centenas de cavalos-vapor. Por exemplo, as ferrovias abriram continentes inteiros ao desenvolvimento, e navios a vapor abriram o comércio internacional moderno. Ambos foram energizados pela força do vapor, aquecido pelo carvão.

A humanidade precisou de 10.000 anos para criar a civilização moderna sobre a face da Europa. Com máquinas movidas a vapor e mais tarde por óleo, os Estados Unidos estavam industrializados dentro de um século. Assim, o domínio de apenas uma única força

fundamental da natureza aumentou a energia disponível para um ser humano e mudou a sociedade irreversivelmente.

No fim do século XIX, o domínio da força eletromagnética por Maxwell mais uma vez desencadeou uma revolução na energia. A força eletromagnética tornou possível a eletrificação de nossas cidades e nossas casas, aumentando exponencialmente a versatilidade e o poder de nossas máquinas. Motores a vapor estavam agora sendo substituídos por poderosos dínamos.

Nos últimos cinquenta anos, a descoberta da força nuclear aumentou a força disponível para um único ser humano por um fator de um milhão. Porque a energia das reações químicas é medida em elétrons-volt, enquanto a energia da fissão e fusão é medida em milhões de elétrons-volt, temos um aumento de milhão de vezes na força que nos é disponível.

A análise da história das necessidades energéticas da humanidade mostra graficamente como apenas durante 0,01% de nossa existência manipulamos níveis de energia superior aos dos animais. No entanto, no período de alguns poucos séculos desencadeamos vastas quantidades de energia através das forças eletromagnética e nuclear. Vamos agora deixar o passado e iniciar uma discussão do futuro, usando a mesma metodologia, para compreender o ponto em que podemos utilizar a superforça.

CIVILIZAÇÕES TIPOS I, II E III

A futurologia, ou a previsão do futuro com base em julgamento científico razoável, é uma ciência arriscada. Alguns nem a chamariam ciência em absoluto, mas algo que mais parece embromação ou bruxaria. A futurologia ganhou merecidamente essa reputação execrável porque todo levantamento "científico" conduzido por futurologistas sobre a década seguinte provou-se redondamente errado. O que faz da futurologia uma ciência tão primitiva é que nossos cérebros pensam linearmente, ao passo que o conhecimento avança exponencialmente. Por exemplo, levantamentos de futurologistas mostraram que eles tomam a tecnologia e simplesmente a dobram ou triplicam para prever o futuro. Levantamentos feitos na década de 1920 mostraram que os futurologistas predisseram que teríamos, dentro de algumas décadas, enormes frotas de pequenos dirigíveis levando passageiros através do Atlântico.

Mas a ciência também se desenvolve de maneiras inesperadas. A curto prazo, quando extrapolarmos para os próximos anos, é uma aposta certa afirmar que a ciência vai avançar e alcançar aperfeiçoamentos estáveis, quantitativos, da tecnologia existente. No entanto, ao extrapolarmos para algumas décadas mais tarde, verificamos que rupturas qualitativas em

novas áreas se tornam o fator dominante, com novos setores se abrindo em lugares inesperados.

Talvez o mais famoso exemplo de futurologia que deu errado sejam as previsões feitas por John von Neumann, o pai da moderna computação eletrônica e um dos grandes matemáticos do século. Depois da guerra, ele fez duas previsões: primeiro, que no futuro os computadores seriam tão monstruosamente grandes e caros que somente grandes governos poderiam se dar ao luxo de possuí-los, e, segundo, que os computadores seriam capazes de prever o clima com precisão.

Na realidade, o crescimento dos computadores deu-se precisamente na direção oposta: estamos inundados com computadores baratos, miniaturas, que podem caber na palma de nossa mão. Os chips dos computadores se tornaram tão baratos e abundantes que são parte integrante de alguns aparelhos eletrodomésticos modernos. Já temos a máquina de escrever "inteligente" (o processador de textos), e vamos acabar tendo o aspirador de pó "inteligente", a cozinha "inteligente", a televisão "inteligente" e coisas do gênero. Além disso, os computadores, não importa qual seja seu poder, fracassaram em prever o clima. Embora o movimento clássico de moléculas individuais possa em princípio ser previsto, o tempo é tão complexo que mesmo o espirro de uma pessoa pode criar distorções que vão se encrespar e ser magnificadas ao longo de milhares de quilômetros, acabando, quem sabe, por provocar um furacão.

Com todas essas importantes advertências, vamos determinar quando uma civilização (seja a nossa própria ou uma no espaço exterior) pode atingir a capacidade de dominar a décima dimensão. O astrônomo Nikolai Kardashev da antiga União Soviética certa vez categorizou as civilizações futuras da seguinte maneira.

Uma civilização Tipo I é aquela que controla os recursos energéticos de todo um planeta. Essa civilização é capaz de controlar o clima, evitar terremotos, minerar em níveis profundos da crosta terrestre e tirar todo proveito dos oceanos. Essa civilização já completou a exploração de seu sistema solar.

Uma civilização Tipo II é a que controla o poder do próprio sol. Isso não significa aproveitar passivamente a energia solar; essa civilização minera o sol. As necessidades de energia dessa civilização são tão grandes que ela consome diretamente a força do sol para mover suas máquinas. Essa civilização vai começar a colonização de sistemas estelares locais.

A civilização Tipo III controla a força de toda uma galáxia. Como fonte de potência, ela explora a força de bilhões de sistemas estelares. Provavelmente dominou as equações de

Einstein e é capaz de manipular o espaço-tempo à vontade.

A base dessa classificação é bastante simples: cada nível é categorizado a partir da fonte de potência que energiza a civilização. As civilizações Tipo I usam a potência de um planeta inteiro. Civilizações Tipo II, a de uma estrela inteira. Civilizações Tipo III usam a potência de uma galáxia inteira. Esta classificação ignora quaisquer previsões referentes à natureza detalhada de civilizações futuras (que são fatalmente erradas) e se centra em vez disso em aspectos que podem ser razoavelmente compreendidos pelas leis da física, como o suprimento de energia.

Nossa civilização, em contraposição, pode ser categorizada como uma civilização do Tipo 0, que está apenas começando a explorar recursos planetários, mas não tem a tecnologia nem os meios para controlá-los. Uma civilização Tipo 0 como a nossa deriva sua energia de combustíveis fósseis como o petróleo e o carvão e, em grande parte do Terceiro Mundo, do trabalho humano bruto. Nossos maiores computadores não podem nem prever o clima, que dirá controlá-lo. Vistos dessa perspectiva mais ampla, nós, como civilização, somos um bebê recém-nascido.

Embora possamos supor que a lenta marcha de uma civilização Tipo 0 para uma civilização Tipo III poderia levar milhões de anos, o fato extraordinário ligado a esse esquema de classificação é que essa ascensão é exponencial e portanto avança muito mais rapidamente que qualquer coisa que se poderia conceber de pronto.

Com todas essas classificações, ainda podemos fazer suposições razoáveis sobre quando nossa civilização vai atingir esses marcos. Dada a taxa em que nossa civilização está crescendo, podemos esperar atingir a condição Tipo I dentro de alguns séculos.

Por exemplo, a maior fonte de energia disponível à nossa civilização Tipo 0 é a bomba de hidrogênio. Nossa tecnologia é tão primitiva que só podemos desencadear o poder da fusão do hidrogênio detonando uma bomba, em vez de controlá-la num gerador de energia. No entanto, um simples furacão gera a potência de centenas de bombas de hidrogênio. Assim o controle do clima, que é uma característica das civilizações Tipo I, está a pelo menos um século de distância de nossa tecnologia atual.

De maneira similar, uma civilização Tipo I já colonizou a maior parte de seu sistema solar. Em contraposição, marcos no desenvolvimento atual das viagens espaciais são penosamente medidos na escala de décadas, e portanto um salto qualitativo, como a colonização do espaço, deve ser medido em séculos. Por exemplo, a primeira data para o pouso tripulado da NASA no planeta Marte é 2020. Portanto, a colonização de Marte pode ocorrer quarenta ou cinquenta anos depois disso, e a colonização do Sistema Solar dentro de um século.

Em contraposição, a transição de uma civilização Tipo I para uma civilização Tipo II pode exigir apenas 1.000 anos. Dado o crescimento exponencial da civilização, podemos esperar que dentro de mil anos as necessidades energéticas de uma civilização vão se tornar tão grandes que ela terá de começar a minerar seu sol para energizar suas máquinas.

Um exemplo típico de civilização Tipo II é a Federação de Planetas descrita na série *Jornada nas estrelas*. Essa civilização acaba de começar a controlar a força gravitacional – isto é, a arte de arquear o espaço-tempo através de buracos de minhoca – e por isso, pela primeira vez, tem a capacidade de atingir estrelas próximas. Ela escapou ao limite imposto pela velocidade da luz mediante o domínio da teoria geral da relatividade de Einstein. Pequenas colônias foram estabelecidas em alguns desses sistemas, que a nave espacial tripulada *Enterprise* tem a missão de proteger. As naves tripuladas da civilização são energizadas pela colisão de matéria e antimatéria. A capacidade de criar grandes concentrações de antimatéria adequada para viagens espaciais situa essa civilização de muitos séculos a um milênio adiante da nossa.

O avanço para uma civilização Tipo III pode demandar vários milênios ou mais. Esta é, de fato, a escala de tempo prevista por Isaac Asimov em sua clássica série *Fundação*, que descreve a ascensão, o declínio e a reemergência de uma civilização galáctica. A escala de tempo envolvida em cada uma dessas transições envolve milhares de anos. Essa civilização aprendeu a utilizar a fonte de energia contida na própria galáxia. Para isso, a viagem por meio de empenamentos, em vez de ser uma forma exótica de viagem a estrelas próximas, é o meio padrão de tráfego e comércio entre setores da galáxia. Assim, embora nossa espécie tenha levado dois milhões de anos para deixar a segurança das florestas e construir uma civilização moderna, talvez ela precise apenas de milhares de anos para deixar a segurança de nosso sistema solar e construir uma civilização galáctica.

Uma opção para uma civilização Tipo III é aproveitar a força das supernovas ou dos buracos negros. Suas naves tripuladas podem até ser capazes de investigar o núcleo galáctico, que é talvez a mais misteriosa de todas as fontes de energia. Astrofísicos teorizaram que, em razão do enorme tamanho do núcleo galáctico, o centro de nossa galáxia pode conter milhões de buracos negros. Se verdadeiro, isso proveria quantidades de energia praticamente ilimitadas.

Nesse ponto, seria possível manipular energias um milhão de bilhão de vezes maiores que as energias dos nossos dias. Assim, para uma civilização do Tipo III, com o rendimento energético de incontáveis sistemas estelares e talvez com o núcleo galáctico à sua disposição, o domínio da décima dimensão se torne uma possibilidade real.

Certa vez almocei com o físico Freeman Dyson do Institute for Advanced Study. Dyson é uma figura respeitável no mundo da física que enfrentou algumas das questões mais intelectualmente desafiadoras e intrigantes com que a humanidade se defronta, tal como uma nova direção na exploração do espaço, a natureza da vida extraterrestre e o futuro da civilização.

Ao contrário de outros físicos, que insistem excessivamente em áreas estreitas, bem definidas, de especialização, a imaginação fértil de Dyson vagou pela galáxia afora. "Não consigo, como Bohr e Feynman fizeram, ficar anos plantado com toda a minha mente concentrada numa única questão profunda. Estou interessado num número grande demais de direções diferentes", confessou ele.[2] Magro, extraordinariamente ágil, com a expressão de coruja de um lente de Oxford e falando com um traço de seu sotaque britânico, ele se envolveu numa longa e vasta conversa comigo durante o almoço, tocando em muitas das ideias que o fascinaram ao longo dos anos.

Vendo a transição de nossa civilização para a condição Tipo I, Dyson acha que nosso primitivo programa espacial está voltado para a direção errada. A tendência atual é buscar cargas úteis mais pesadas e maior intervalo de tempo entre lançamentos ao espaço, o que está retardando gravemente a exploração do espaço. Em seus textos, ele propôs um afastamento radical dessa tendência, com base no que chama de *Astrochicken*, ou *Astrogalo*.

Pequeno, leve e inteligente, o *Astrochicken* é uma sonda espacial versátil que tem uma clara vantagem sobre as volumosas e exorbitantemente caras missões espaciais do passado, que foram um obstáculo para a exploração espacial. "O *Astrochicken* vai pesar um quilograma em vez da tonelada da *Voyager*", afirma ele. "O *Astrochicken* não vai ser construído, vai crescer", acrescenta. "O *Astrochicken* poderia ser tão ágil quanto um beija-flor, com um cérebro pesando não mais de um grama."[3]

Ele será parte máquina e parte animal, usando os mais avançados desenvolvimentos da bioengenharia. Será pequeno mas poderoso o suficiente para explorar planetas externos como Urano e Netuno. Não vai necessitar de grandes quantidades de combustível para foguete; será criado e programado para "comer" gelo e hidrocarbonetos encontrados nos anéis que circundam os planetas externos. Seu estômago programado pela engenharia genética irá então digerir esses materiais em combustível químico. Uma vez que seu apetite esteja satisfeito, ele será projetado para a próxima lua ou planeta.

O *Astrochicken* depende de rupturas tecnológicas na engenharia genética, na inteligência artificial e na propulsão solar-elétrica. Dado o notável progresso verificado nessas áreas,

Dyson espera que as várias tecnologias para o *Astrochicken* possam estar disponíveis na altura do ano 2016.

Tomando a visão mais ampla do desenvolvimento da civilização, Dyson também acredita que, na taxa atual de desenvolvimento, podemos atingir a condição Tipo I dentro de alguns séculos. Ele não acredita que será difícil fazer a transição entre os vários tipos de civilização. Estima que a diferença em tamanho e poder que separa os vários tipos de civilização é grosseiramente um fator de dez bilhões. Embora esse possa parecer um número grande, uma civilização que cresça na preguiçosa taxa de 1% ao ano pode esperar fazer a transição entre as várias civilizações em 2.500 anos. Por isso é quase garantido que uma civilização pode progredir com estabilidade até a condição Tipo III.

Dyson escreveu: "Uma sociedade que por acaso possua um forte impulso expansionista irá expandir seu habitat de um único planeta (Tipo I) para uma biosfera que explore toda uma estrela (Tipo II) dentro de poucos milhares de anos, e de uma única estrela para uma galáxia inteira (Tipo III) em poucos milhões de anos. Uma vez que tenha ido além da condição Tipo II, uma espécie se torna invulnerável à extinção, mesmo em face da pior catástrofe natural ou artificial imaginável."[4]

No entanto, há um problema. Dyson concluiu que a transição de uma civilização Tipo II para uma Tipo III pode envolver dificuldades físicas terríveis, devidas sobretudo à limitação imposta pela velocidade da luz. A expansão de uma civilização Tipo II avançará necessariamente numa velocidade menor que a da luz, o que a seu ver impõe uma grave restrição ao seu desenvolvimento.

Irá uma civilização do Tipo II romper a barreira da luz e as amarras da relatividade especial, explorando o poder do hiperespaço? Dyson não tem certeza. Nada pode ser descartado, mas o comprimento de Planck, ele me lembrou, é uma distância fantasticamente pequena e as energias requeridas para a investigação dessa distância são inimagináveis. Talvez, ele cisma, o comprimento de Planck seja uma barreira natural a ser enfrentada por todas as civilizações.

CIVILIZAÇÕES TIPO III NO ESPAÇO EXTERIOR

Se a longa jornada para atingir a condição Tipo III parece remota para nossa própria civilização, talvez um dia venhamos a encontrar uma civilização extraterrestre que já tenha explorado o hiperespaço para suas necessidades e esteja disposta a partilhar sua tecnologia conosco. O enigma que enfrentamos, contudo, é que não vemos sinais de nenhuma civilização

avançada no céu, pelo menos não em nosso sistema solar ou mesmo em nosso pequeno setor da galáxia. Nossas sondas espaciais, especialmente a *Viking*, que aterrissou em Marte na década de 1970, e as missões *Voyager* a Júpiter, Saturno, Urano e Netuno na década de 1980, enviaram de volta informações desalentadoras sobre a natureza árida e sem vida de nosso sistema solar.

Os dois planetas mais promissores, Vênus e Marte, não revelaram quaisquer sinais de vida, muito menos de civilizações avançadas. Vênus, batizado com o nome da deusa do amor, foi outrora imaginado tanto pelos românticos quanto pelos astrônomos como um planeta tropical, exuberante. Mas o que nossas sondas espaciais encontraram foi um planeta áspero, estéril, com uma atmosfera sufocante de dióxido de carbono, temperaturas abrasadoras de mais de 425º C e chuvas tóxicas de ácido sulfúrico.

Marte, o foco da especulação desde muito antes de Orson Welles causar pânico nos EUA em 1938 durante a Depressão com sua transmissão de rádio ficcional sobre uma invasão de habitantes desse planeta, foi igualmente desapontador. Sabemos que é um planeta desolado, deserto, sem vestígios de água na superfície. Leitos antigos de rios e de oceanos há muito desaparecidos deixaram sua marca distintiva na superfície de Marte, mas não vemos ruínas ou quaisquer indícios de civilização.

Indo além do nosso sistema solar, cientistas analisaram as emissões de rádio de estrelas próximas com resultados igualmente infrutíferos. Dyson enfatizou que qualquer civilização avançada deve gerar, necessariamente, por força da Segunda Lei da Termodinâmica, grandes quantidades de refugo de calor. Seu consumo de energia teria de ser enorme, e uma pequena fração desse refugo de calor seria facilmente detectada por nossos instrumentos. Assim, afirma Dyson, perscrutando as estrelas próximas, nossos instrumentos deveriam ser capazes de encontrar a marca digital reveladora de refugo de calor sendo gerado por uma civilização avançada. Mas não importa onde inspecionemos o céu, não vemos nenhum vestígio de refugo de calor ou de radiocomunicações de civilizações Tipo I, II ou III. Em nossa própria Terra, por exemplo, dominamos a arte do rádio e da televisão no último meio século. Assim, uma esfera em expansão de ondas de rádio, com um raio de cerca de 50 anos-luz, circunda nosso planeta. Qualquer estrela num raio de 50 anos-luz da Terra, se contivesse vida inteligente, seria capaz de detectar nossa presença. Da mesma maneira, qualquer civilização Tipo II ou III deveria estar transmitindo copiosas quantidades de radiação eletromagnética continuamente há muitos milhares de anos, de modo que qualquer vida inteligente a uma distância de vários milhares de anos-luz do planeta da civilização deveria ser capaz de detectar sua presença.

Em 1978, o astrônomo Paul Horowitz esquadrinhou todos os sistemas estelares

semelhantes ao solar (185 ao todo) dentro de uma distância de 80 anos-luz de nosso sistema solar e não encontrou quaisquer traços de emissões de rádio por vida inteligente. Os astrônomos Donald Goldsmith e Tobius Owen relataram em 1979 uma busca em mais de seiscentos sistemas estelares, também com resultados negativos. Essa busca, chamada SETI (search for extraterrestrial intelligence), fracassou totalmente. (Animadoramente, numa rara exibição de generosidade científica, em 1992 o Congresso americano destinou 100 milhões de dólares para o High Resolution Microwave Survey, a serem gastos ao longo de um período de dez anos no esquadrinhamento das estrelas próximas em busca de vida inteligente. Essa verba vai permitir ao gigantesco radiotelescópio fixo de 305 metros situado em Arecibo, Porto Rico, perscrutar sistematicamente estrelas selecionadas num raio de 100 anos-luz da Terra. Isso será complementado pela antena de rádio móvel de 34 metros situada em Goldstone, Califórnia, que varrerá grandes porções do céu noturno. Após anos de resultados negativos, o astrônomo Frank Drake, da Universidade da Califórnia em Santa Cruz, está cautelosamente otimista de que irão encontrar alguns sinais positivos de vida inteligente. Ele observa: "Muitas sociedades humanas desenvolveram a ciência independentemente, por meio de uma combinação de curiosidade e tentativa de criar uma vida melhor, e penso que essas mesmas motivações devem existir em outras criaturas.")

O enigma se aprofunda quando compreendemos que a probabilidade da emergência de vida inteligente em nossa galáxia é surpreendentemente grande. Drake chegou a derivar uma equação simples para calcular o número de planetas com formas de vida inteligente na galáxia.

Nossa galáxia, por exemplo, contém cerca de 200 bilhões de estrelas. Para chegar ao número aproximado de estrelas com formas de vida inteligente, podemos fazer a seguinte estimativa muito grosseira. Podemos ser conservadores e dizer que 10% dessas estrelas são estrelas amarelas muito semelhantes ao Sol, que dessas, 10% têm planetas orbitando-as, que dessas, 10% têm planetas como a Terra, que dessas, 10% têm planetas como a Terra com atmosferas compatíveis com a vida, que dessas, 10% têm atmosferas semelhantes à da Terra com formas de vida crescendo nelas, e que dessas, 10% têm alguma forma de vida inteligente. Isso significa que um milionésimo das 200 bilhões de estrelas irá provavelmente ter algum tipo de vida inteligente. Ou seja, o assombroso número de 200 mil estrelas terá planetas abrigando alguma forma de vida inteligente. Um conjunto de valores ligeiramente mais otimista para a equação de Drake mostra que a vida inteligente poderia, na média, estar a uma distância de não mais de 15 anos-luz do nosso sol.

Com técnicas de computação avançadas e recentes, cientistas foram capazes de refinar a

equação original feita por Drake. George W. Wetherill da Carnegie Institution de Washington, por exemplo, rodou simulações de computador da evolução inicial de nosso sistema solar, começando com um disco de gás e poeira grande e em rotação em torno do Sol. Ele deixa o computador desenvolver o disco até que massas pequenas e rochosas começam a se aglutinar a partir da poeira. Para sua grande surpresa, ele descobriu que planetas do tamanho aproximado da Terra se desenvolviam facilmente a partir desses núcleos rochosos. Na maior parte das vezes, de fato, planetas do tamanho da Terra se aglutinavam espontaneamente entre 80% e 130% da distância que separa a Terra do Sol. (Curiosamente, ele descobriu também que a formação de planetas do tamanho de Júpiter longe do Sol era importante para a evolução de planetas do tamanho da Terra. Os planetas do tamanho de Júpiter eram essenciais para varrer enxames de cometas e fragmentos que iriam acabar por atingir o planeta do tamanho da Terra, extinguindo quaisquer formas de vida primitiva que ele abrigasse. As simulações do computador de Wetherill mostram que, sem um planeta como Júpiter para afastar esses cometas com sua gigantesca atração gravitacional, eles iriam atingir o planeta semelhante à Terra com frequência cerca de 1.000 vezes maior do que na realidade o fazem, causando um impacto destruidor da vida a cada 100.000 anos aproximadamente.)

Assim, é uma conclusão forçosa (mas certamente não rigorosa) que as leis da probabilidade favorecem a presença de outra inteligência no âmbito da galáxia. O fato de nossa galáxia ter talvez dez bilhões de anos significa que houve tempo mais do que suficiente para que um grande número de formas de vida inteligente tenha florescido. Civilizações tipos II e III, transmitindo de várias centenas a vários milhares de anos, deveriam estar emitindo uma esfera de radiação eletromagnética facilmente detectável, com várias centenas a vários milhares de anos-luz de diâmetro. No entanto não vemos nenhum sinal de formas de vida inteligente no céu.

Por quê?

Várias teorias especulativas foram propostas para explicar por que temos sido incapazes de detectar sinais de vida inteligente a até 100 anos-luz de nosso planeta. Nenhuma delas é particularmente satisfatória, e a verdade final talvez seja uma combinação de todas.

Uma teoria sustenta que a equação de Drake pode nos dar probabilidades grosseiras de quantos planetas contêm vida inteligente, mas não nos diz nada sobre quando esses planetas atingem esse nível de desenvolvimento. Dadas as escalas de tempo astronômicas envolvidas, talvez a equação de Drake preveja formas inteligentes que existiram milhões de anos antes de nós, ou vão existir milhões de anos depois de nós.

Por exemplo, nosso sistema solar tem cerca de 4,5 bilhões de anos de idade. A vida

começou na Terra cerca de três a quatro bilhões de anos atrás, mas somente no último milhão de anos a vida inteligente se desenvolveu no planeta (e somente nas últimas décadas essa civilização construiu estações de rádio capazes de emitir sinais para o espaço exterior). No entanto, um milhão de anos, na escala de tempo de bilhões de anos, não passa de um instante. É razoável supor que milhares de civilizações avançadas existiram antes que nossos ancestrais remotos sequer tivessem deixado a floresta e pereceram desde então, ou que milhares de outras civilizações vão se desenvolver muito tempo depois que a nossa tiver morrido. Em qualquer das hipóteses, não seríamos capazes de detectá-las através dos nossos instrumentos.

A segunda teoria sustenta que a galáxia está, de fato, apinhada de formas avançadas de civilização, mas elas são avançadas o bastante para esconder sua existência de nossos instrumentos abelhudos. Não significaríamos nada para elas por estarem tantos milhões de anos à nossa frente. Por exemplo, se topamos com uma colônia de formigas quando andamos por um campo, nosso primeiro impulso certamente não é fazer contato com as formigas, pedir para ver seu chefe, mostrar-lhes bugigangas e oferecer-lhes uma prosperidade sem paralelo e os frutos de nosso avanço tecnológico. Mais provavelmente, nossa primeira tentação é ignorá-las (ou talvez até pisar em algumas).

Intrigado por essas questões tão persistentes, perguntei a Dyson se ele pensava que logo iríamos estar fazendo contato com formas de vida extraterrestres. Ele disse: “Espero que não.” Pareceu-me estranho que alguém que havia passado décadas especulando sobre civilizações inteligentes no espaço exterior tivesse reservas quanto a encontrá-las realmente. Conhecendo a história britânica, no entanto, ele deveria ter boas razões para não correr ao encontro de outras civilizações. A civilização britânica era provavelmente apenas alguns séculos mais avançada que muitas das civilizações, como a indiana e as africanas, conquistadas pelo exército e a marinha britânicos.

Embora a maioria dos autores de ficção científica lamente as limitações na exploração do espaço impostas pelo limite da velocidade da luz, Dyson adota a ideia pouco ortodoxa de que talvez isso seja uma boa coisa. Vendo a história frequentemente sangrenta do colonialismo em todo o nosso mundo, talvez seja uma bênção disfarçada, ele pondera, que várias civilizações Tipo II estejam separadas por grandes distâncias e que a energia de Planck seja inacessível. Contemplando o lado positivo, ele brincou: “Pelo menos, podemos escapar dos cobradores de impostos.”

Lamentavelmente, o encontro de duas civilizações desiguais tem com frequência implicações catastróficas para a mais fraca. Por exemplo, a civilização asteca ascendeu ao

longo de milhares de anos a uma grande proeminência no México central. Em algumas áreas, seu domínio da ciência, da arte e da tecnologia rivalizava com as realizações da Europa. No entanto, na área da pólvora e dos navios de guerra, os astecas estavam talvez vários séculos atrás dos espanhóis. O súbito choque entre um pequeno e andrajoso bando de quatrocentos conquistadores e as avançadas civilizações dos astecas terminou em tragédia em 1521. Dentro de um breve período de tempo, o povo asteca, que somava uma população de milhões, foi sistematicamente esmagado e posto para trabalhar nas minas como mão de obra escrava. Seus tesouros foram saqueados, sua história foi apagada, e mesmo a mais débil memória da grande civilização asteca foi obliterada por ondas de missionários.

Quando pensamos em como poderíamos reagir a visitantes do espaço exterior, ler sobre como os astecas reagiram aos visitantes estrangeiros ajuda-nos a ser ponderados. “Eles se agarravam ao ouro como se fossem macacos, seus rostos brilhando. Pois claramente sua fome de ouro era insaciável; passavam fome por ele; anelavam-no; queriam se abarrotar daquela coisa como se fossem porcos. Assim saíram por ali tocando, pegando as fitas de ouro, movendo-as para trás e para a frente, agarrando-as para si mesmos, balbuciando, falando uma algaravia uns com os outros.”[p][5]

Numa escala cósmica, a interação súbita entre civilizações poderia ser até mais dramática. Como estamos falando de escalas de tempo astronômicas, é provável que uma civilização que está um milhão de anos à frente de nós nos considere totalmente desprovidos de interesse. Além disso, provavelmente nosso planeta teria pouco a oferecer a esses alienígenas em termos de recursos naturais que não sejam simultaneamente disponíveis em vários outros sistemas estelares.

Na série *Jornada nas estrelas*, porém, a Federação dos Planetas encontra outras civilizações hostis, os klingons e os romulanos, que estão *precisamente* no mesmo estágio de desenvolvimento tecnológico que a própria Federação. Isso pode intensificar o drama e a tensão da série, mas a probabilidade de sua ocorrência é realmente ínfima. Mais provavelmente, quando nos aventurarmos pela galáxia em naves tripuladas, vamos encontrar civilizações em níveis de desenvolvimento tecnológico vastamente diferentes, algumas talvez milhões de anos à nossa frente.

A ASCENSÃO E A QUEDA DE CIVILIZAÇÕES

Além das possibilidades de que tenhamos perdido a chance de encontrar outras civilizações por milhões de anos e de que outras civilizações possam não considerar a nossa digna de nota,

uma terceira teoria, mais interessante, sustenta que milhares de formas de vida inteligente surgiram do pântano, mas foram incapazes de enfrentar uma série de catástrofes, tanto naturais quanto autoinfligidas. Se essa teoria estiver correta, algum dia nossas naves tripuladas vão encontrar as ruínas de civilizações antigas em planetas muito distantes, ou, provavelmente, nossa própria civilização pode ser confrontada com essas catástrofes. Em vez de nos tornarmos "senhores do universo", podemos seguir a rota da autodestruição. Assim a pergunta que fazemos é: qual é o destino das civilizações avançadas? Iremos nós (elas) sobreviver por tempo suficiente para dominar a física da décima dimensão?

A ascensão das civilizações não é marcada por um crescimento estável e seguro em tecnologia e conhecimento. A história nos mostra que civilizações ascendem, amadurecem e depois desaparecem, às vezes sem deixar traço. No futuro, talvez a humanidade vá desencadear a caixa de Pandora de horrores tecnológicos que ameaçam nossa própria existência, de bombas atômicas a dióxido de carbono. Longe de trombetear a chegada da Era de Aquário, alguns futurologistas preveem que poderemos estar diante do colapso tecnológico e ecológico. Para o futuro, eles evocam a atemorizante imagem da humanidade reduzida a um patético e aterrorizado Scrooge da fábula de Charles Dickens, a rastejar no terreno de seu próprio túmulo, implorando por uma segunda chance.

Infelizmente, grande parte da humanidade é em boa medida indiferente ao potencial de desastre que temos pela frente, ou o ignora. Alguns cientistas sustentaram que talvez a humanidade, considerada como uma entidade única, possa ser comparada a um adolescente fora de controle. Por exemplo, psicólogos nos dizem que os adolescentes agem como se fossem invulneráveis. Sua maneira de dirigir, beber e seus hábitos ligados a drogas são uma clara prova, dizem eles, da imprudência irresponsável que impregna seu estilo de vida e ponto de vista. A principal causa de morte entre adolescentes nos EUA já não são doenças, mas acidentes, provavelmente causados pelo fato de que eles pensam que vão viver para sempre.

Se isso for verdade, estamos abusando da tecnologia e do ambiente como se fôssemos viver para sempre, inconscientes das tragédias que nos esperam no futuro. A sociedade como um todo talvez sofra de um "complexo de Peter Pan", jamais querendo crescer e enfrentar as consequências de sua própria irresponsabilidade.

Para concretizar nossa discussão, usando o conhecimento à nossa disposição, podemos identificar vários importantes obstáculos que devem ser transpostos durantes as várias eras que se seguem, antes que comecemos a nos tornar senhores da décima dimensão: a barreira do urânio, o colapso ecológico, uma nova idade do gelo, encontros astronômicos próximos, Nêmesis e extinção, e a morte do Sol e da Via Láctea.

Jonathan Schell, em seu livro divisor de águas *The Fate of the Earth*, assinala quão perigosamente próximos chegamos da aniquilação mútua. Embora o recente colapso da União Soviética tenha tornado possíveis extensos cortes, ainda existem hoje no mundo 50 mil armas nucleares, tanto táticas quanto estratégicas, e foguetes mortalmente precisos para lançá-las. A humanidade finalmente dominou a possibilidade da aniquilação total.

Se os mísseis não destruírem toda a população do mundo nos primeiros disparos de uma guerra nuclear, ainda podemos esperar pela morte agonizante causada pelo inverno nuclear, durante o qual a fuligem e a cinza das cidades em lenta combustão extinguem lentamente a luz vivificante do sol. Estudos de computador mostraram que cem megatons de explosivos já são o suficiente para gerar tempestades de fogo nas cidades suficientes para nublar significativamente a atmosfera. À medida que as temperaturas despencam, colheitas malogram e cidades se congelam, os últimos vestígios de civilização serão apagados como uma vela.

Por fim, há o crescente perigo da proliferação nuclear. Os serviços de informação dos Estados Unidos estimam que a Índia, que detonou sua primeira bomba em 1974, tem agora um estoque de cerca de vinte bombas atômicas. Seu arqui-inimigo Paquistão, afirmam essas fontes, construiu quatro bombas atômicas, uma das quais pesa não mais que 180 quilos, em sua instalação nuclear secreta de Kahuta. Um funcionário da instalação nuclear Dimona, de Israel, no deserto de Negev, afirmou ter visto ali material suficiente para a construção de duzentas bombas atômicas. E a África do Sul admitiu ter feito sete bombas atômicas, tendo ao que parece testado duas delas no fim da década de 1970 ao largo de sua costa. O satélite espião dos EUA *Vela* detectou a "impressão digital" da bomba atômica, um característico e inconfundível duplo *flash*, em duas ocasiões, ao largo da costa da África do Sul, na presença de navios de guerra israelenses. Nações como a Coreia do Norte, a Coreia do Sul e Taiwan estão prestes a se tornar nucleares. É extremamente provável, dadas as recentes revelações dos serviços de informação americanos, que vinte nações vão possuir a bomba no ano 2000. A bomba terá proliferado pelas regiões mais belicosas do mundo, inclusive o Oriente Médio.

Essa situação é extremamente instável e vai ficar ainda mais à medida que nações competirem por recursos que estão se escasseando e por esferas de influência. Não somente nossa sociedade, mas toda civilização inteligente na galáxia que construir uma sociedade industrializada, vai descobrir o elemento 92 (urânio) e com ele a capacidade de destruição em massa. O elemento 92 tem a curiosa propriedade de sustentar uma reação em cadeia e liberar a vasta quantidade de energia armazenada em seu núcleo. Com a capacidade de dominar o elemento 92, vem a capacidade de libertar nossa espécie da carência, da ignorância e da

fome, ou de consumir o planeta em fogo nuclear. O poder do elemento 92, no entanto, só pode ser liberado quando uma espécie inteligente atinge um certo ponto de desenvolvimento, como uma civilização Tipo 0. Ele depende do tamanho de sua unidade social coesiva e de seu estágio de desenvolvimento industrial.

O fogo, por exemplo, pode ser utilizado por grupos isolados de indivíduos inteligentes (como uma tribo). Fundição e metalurgia primitiva, necessárias para a fabricação de armas, requerem uma unidade social maior, talvez por volta dos milhares (como uma pequena aldeia). O desenvolvimento do motor de combustão interna (por exemplo, um motor de automóvel) requer o desenvolvimento de uma base química e industrial complexa, que só pode ser realizado por uma unidade social coesiva que conte milhões (por exemplo, um Estado-nação).

A descoberta do elemento 92 transtorna esse equilíbrio entre o crescimento lento e estável da unidade social coesiva e seu desenvolvimento tecnológico. A liberação de energia nuclear excede os explosivos químicos por um fator de um milhão, mas o mesmo Estado-nação capaz de utilizar o motor de combustão interna pode também refinar o elemento 92. Assim ocorre um grave descompasso, especialmente quando o desenvolvimento social dessa civilização hipotética ainda está encerrado na forma de Estados-nações hostis. A tecnologia para a ação violenta e a destruição supera abruptamente o lento desenvolvimento das relações sociais com a descoberta do elemento 92.

É natural concluir, portanto, que civilizações Tipo 0 surgiram em numerosas ocasiões nos últimos cinco bilhões a dez bilhões de anos da história de nossa galáxia, mas que acabaram por descobrir o elemento 92. Se a capacidade tecnológica de uma civilização superava seu desenvolvimento social, então, com a ascensão de Estados-nações hostis, há grande probabilidade de que a civilização tenha se destruído há muito tempo numa guerra atômica.[6] Lamentavelmente, se vivermos o suficiente para alcançar estrelas próximas em nosso setor da galáxia, é possível que vejamos as cinzas de numerosas civilizações, mortas, que resolveram paixões nacionais, ciúmes pessoais e ódios raciais com bombas nucleares.

Como Heinz Pagels disse:

> O desafio à nossa civilização que adveio de nosso conhecimento das energias cósmicas que são o combustível das estrelas, do movimento da luz e dos elétrons através da matéria, da intricada ordem molecular que é a base biológica da vida, deve ser correspondido pela criação de uma ordem moral e política que acomode todas essas forças, ou seremos destruídos. Isso porá à prova nossos mais profundos recursos de razão e compaixão.[7]

Parece provável, portanto, que civilizações avançadas tenham emergido em numerosas ocasiões no âmbito de nossa galáxia, mas que poucas delas tenham conseguido transpor a barreira do urânio, especialmente se sua tecnologia sobrepujava seu desenvolvimento social.

Se traçarmos, por exemplo, a ascensão da tecnologia do rádio num gráfico, veremos que nosso planeta evoluiu por cinco bilhões de anos antes que uma espécie inteligente descobrisse como manipular as forças eletromagnética e nuclear. No entanto, se nos aniquilarmos a nós mesmos numa guerra nuclear, essa curva vai se tornar um espigão e retornar ao zero. Assim, para nos comunicarmos com uma civilização avançada, devemos esquadrinhar precisamente a era certa, com uma precisão de algumas décadas, antes que as civilizações tenham explodido a si mesmas. Há uma "janela" muito pequena, que tende a desaparecer, através da qual podemos fazer contatos com outra civilização viva antes que ela se destrua. Na Figura 13.1, vemos a ascensão de civilizações alienígenas através da galáxia representada por uma série de picos, cada um mostrando a rápida ascensão de uma civilização e sua queda ainda mais rápida devida à guerra nuclear. Perscrutar o céu à procura de vida inteligente, portanto, pode ser uma tarefa difícil. Talvez tenha havido muitos milhares de picos nos últimos bilhões de anos, com milhares de planetas dominando brevemente a tecnologia do rádio antes de se explodirem. Cada breve pico, infelizmente, tem lugar em diferentes tempos cósmicos.

Colapso ecológico

Supondo que uma civilização Tipo 0 possa dominar o urânio sem se destruir numa guerra nuclear, a barreira seguinte é a possibilidade de colapso ecológico.

Lembramos o exemplo anterior de uma única bactéria, que se divide com tal frequência que acaba por pesar mais que o planeta Terra. No entanto, na realidade não vemos massas gigantescas de bactérias na Terra – de fato, colônias bacterianas geralmente não chegam a alcançar nem o tamanho de uma moeda de um centavo. Bactérias de um laboratório postas numa placa cheia de nutrientes vão na verdade crescer exponencialmente, mas acabarão morrendo porque produzem excesso de dejetos e exaurem o suprimento de comida. Essas colônias bacterianas essencialmente se sufocam em seus próprios dejetos.

Como colônias de bactérias, podemos também estar exaurindo nossos recursos ao mesmo tempo em que nos sufocamos nos refugos que não cessamos de produzir. Nossos oceanos e a atmosfera, longe de serem ilimitados, são filmes ultrafinos na superfície da Terra. A população de uma civilização de Tipo 0, antes de atingir a condição do Tipo I, pode chegar aos bilhões, criando uma pressão sobre os recursos e exacerbando os problemas de poluição. Um dos perigos mais imediatos é o envenenamento da atmosfera, na forma de dióxido de carbono, que captura a luz solar e eleva a temperatura média do mundo, podendo dar início a

um efeito estufa descontrolado.

Desde 1958, as concentrações de dióxido de carbono no ar se elevaram 25%, sobretudo em razão da queima de petróleo e carvão (45% do dióxido de carbono vêm dos Estados Unidos e da ex-União Soviética). Isto, por sua vez, pode ter acelerado a ascensão média da temperatura da Terra. A temperatura média do mundo levou quase um século, desde 1880, para se elevar 0,5º C. No entanto, essa temperatura está agora subindo quase 0,3º C por década. No ano 2050, isso significará uma elevação das águas litorâneas de 30 a 120 centímetros, o que pode submergir nações como Bangladesh e inundar áreas como Los Angeles e Manhattan. Ainda mais graves seriam uma devastação nas culturas agrícolas do Meio-Oeste, a aceleração da expansão dos desertos e a destruição das florestas pluviais tropicais, o que por sua vez acelera o efeito estufa. A fome e a ruína econômica se espalhariam em escala global.

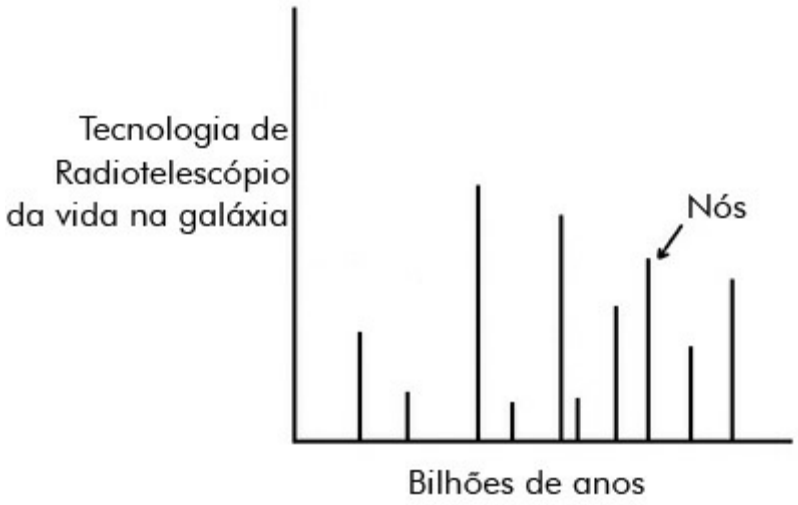


Figura 13.1. Por que não vemos outra vida inteligente na galáxia? Talvez formas de vida inteligentes, capazes de construir radiotelescópios, tenham florescido milhões de anos no passado, mas perecido numa guerra nuclear. Nossa galáxia pode ter sido repleta de vida inteligente, mas talvez a maior parte esteja morta agora. Será diferente com nossa civilização?

O erro reside numa política planetária não coordenada. A poluição ocorre em milhões de fábricas individuais em todo o planeta, mas o poder de refrear essa poluição desregrada reside numa política planetária, cuja aplicação é difícil, se não impossível, se a unidade social coesiva dominante for o Estado-nação, composto apenas por centenas de milhões de pessoas. A médio prazo, isso poderia significar políticas de emergência e a acentuada redução dos motores de combustão interna e da queima de petróleo e carvão. O padrão de vida poderia cair também. Isso significa agruras adicionais para as nações em desenvolvimento, que precisam de acesso a fontes baratas de energia. A longo prazo, no entanto, nossa sociedade poderia ser forçada a recorrer a uma de três soluções possíveis que não geram dióxido de carbono e são essencialmente inexauríveis: energia solar, instalações de fusão e

reatores regeneradores. Destes, a energia solar e a de fusão são os mais promissores. A energia de fusão (que funde os átomos de hidrogênio na água do mar) e a energia solar vão demorar ainda décadas para serem exploradas, mas poderiam fornecer amplos suprimentos de energia para os próximos séculos, até que a sociedade faça a transição para uma civilização do Tipo I.

A falha mais uma vez reside no fato de que a tecnologia ultrapassou o desenvolvimento social. Enquanto houver produção de poluição por Estados-nações individuais, quando as medidas necessárias para corrigir isso são planetárias, haverá um descompasso que convida ao desastre. A barreira do urânio e o colapso ecológico vão existir como desastres ameaçadores à vida para civilizações do Tipo 0 até que esse descompasso seja superado.

Uma vez que uma civilização supera o Tipo 0, há muito mais lugar para otimismo. A chegada à condição Tipo I exige um extraordinário grau de cooperação social numa escala planetária. Agregados da ordem de dezenas a centenas de milhões de indivíduos são necessários para explorar os recursos de urânio, combustão interna e substâncias químicas. Contudo, agregados da ordem de bilhões são provavelmente necessários para explorar verdadeiramente os recursos planetários. Assim, a organização social de uma civilização Tipo I deve ser muito complexa e muito avançada, de outro modo a tecnologia não pode ser desenvolvida.

Por definição, uma civilização Tipo I requer uma unidade social coesiva que corresponde a toda a população do planeta. Uma civilização Tipo I por sua própria natureza tem de ser uma civilização planetária. Não pode funcionar numa escala menor.

Isso pode, de certo modo, ser comparado ao nascimento de uma criança. O período mais perigoso para uma criança são os primeiros meses de vida, quando a transição para um ambiente externo, potencialmente hostil, submete o bebê a enormes tensões biológicas. Após o primeiro ano de vida, a taxa de mortalidade cai enormemente. De maneira similar, o período mais perigoso para uma civilização são os primeiros séculos depois que ela alcançou a capacidade nuclear. No fim das contas, uma civilização que alcançou um sistema político planetário talvez tenha superado o pior.

Uma nova idade do gelo

Ninguém sabe o que causa uma idade do gelo, que tem uma duração medida em dezenas a centenas de milhares de anos. Segundo uma teoria, ela é causada por diminutas variações na rotação da Terra, que são pequenas demais para serem percebidas mesmo ao longo de um

período de séculos. Ao longo de centenas de milhares de anos esses minúsculos efeitos parecem se acumular, para causar ligeiras mudanças nos ventos que sopram com força e a grande altura sobre os polos. Finalmente, esses ventos são desviados, enviando massas polares congelantes cada vez mais para o sul, o que leva as temperaturas a cair rapidamente em torno do globo, até que uma idade do gelo se inicia. As idades do gelo causaram considerável dano à ecologia da Terra, eliminando grande número de formas de vida mamíferas e talvez isolando bandos de seres humanos em diferentes continentes, possivelmente até dando origem à variedade de raças, que é um fenômeno relativamente recente.

Lamentavelmente, nossos computadores são primitivos demais até para prever o clima de amanhã, muito menos quando a próxima idade do gelo vai cair. Por exemplo, os computadores estão entrando agora em sua quinta geração. Por vezes nos esquecemos de que, por maior ou mais complexo que um computador de quarta geração seja, ele só é capaz de somar dois números de cada vez. Isso é um enorme obstáculo que mal está começando a ser resolvido com a quinta geração de computadores, que têm processadores paralelos capazes de executar várias operações simultaneamente.

É extremamente provável que nossa civilização (se ela conseguir transpor com sucesso a barreira do urânio e o colapso ecológico) atinja a condição de Tipo I e, com ela, a capacidade de controlar o clima dentro de algumas centenas de anos. Se a humanidade atingir a condição Tipo I ou mais elevada antes que a próxima idade do gelo ocorra, há amplos motivos para se acreditar que uma idade do gelo não a destruirá. Ou os seres humanos mudarão o clima e impedirão a idade do gelo, ou abandonarão o planeta Terra.

Encontros astronômicos próximos

Numa escala de tempo de vários milhares a vários milhões de anos, civilizações Tipo 0 e Tipo I têm de se preocupar com colisões com asteroides e com explosões de supernovas próximas.

Somente neste século, com mensurações astronômicas refinadas, tornou-se evidente que a órbita da Terra corta as órbitas de muitos asteroides, tornando a possibilidade de quase colisões de raspão incomodamente grande. (Uma maneira que uma civilização Tipo 0 ou Tipo I tem para impedir uma colisão direta é enviar foguetes com bombas de hidrogênio para interceptar e desviar o asteroide enquanto ele ainda está a dezenas de milhões de quilômetros da Terra. Este método foi, de fato, proposto por grupos internacionais de cientistas.)

Essas quase colisões são mais frequentes do que a maioria da população supõe. A última ocorreu no dia 3 de janeiro de 1993 e foi de fato fotografada com o uso de radar pelos astrônomos da NASA. Fotos do asteroide Toutatis mostram que ele consiste em dois núcleos rochosos, cada um com 3,2 quilômetros de diâmetro. Ele chegou a uma distância de 3,5 milhões de quilômetros do planeta Terra. No dia 23 de março de 1989, um asteroide com cerca de 0,8 quilômetro passou até mais perto da Terra, chegando a cerca de 1,1 milhão de quilômetros (grosseiramente três vezes a distância da Terra à Lua).

De fato, foi também anunciado no fim de 1992 que um cometa gigante se chocaria com a Terra exatamente no dia 14 de agosto de 2126, talvez pondo fim à vida no planeta. O astrônomo Brian Marsden, do Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, calculou as chances de uma colisão direta em uma em 10.000. O cometa Swift-Tuttle (assim chamado em homenagem aos dois astrônomos americanos que primeiro o avistaram durante a Guerra Civil) foi logo apelidado Doomsday Rock, A Rocha do Dia do Juízo, pela mídia. Físicos de armas nucleares prestes a perder o emprego, talvez de uma maneira interesseira, afirmaram que deveria lhes ser dada permissão para construir imensas bombas de hidrogênio para explodi-lo em pedacinhos quando a hora chegar.

Pedaços do Swift-Tuttle já colidiram com a Terra. Fazendo uma revolução completa em torno do Sol a cada 130 anos, ele larga considerável quantidade de destroços, criando um rio de meteoros e partículas no espaço exterior. Quando a Terra cruza esse rio, temos a chuva anual de meteoros das Perseidas, que raramente deixa de iluminar o céu com fogos de artifício celestiais. (Deveríamos também assinalar que prever passagens próximas de cometas é um negócio arriscado. Como o calor da radiação solar faz a superfície de gelo do cometa vaporizar de maneira irregular e espirrar como milhares de pequenas bombinhas, há leves mas importantes distorções em sua trajetória. Não surpreendentemente, Marsden desdisse sua predição algumas semanas mais tarde como incorreta: “Estamos seguros para o próximo milênio”, admitiu.)

Um painel realizado pela NASA em janeiro de 1991 estimou que há cerca de 1.000 a 4.000 asteroides que cruzam a órbita da Terra e têm mais de 0,8 quilômetro de extensão, o suficiente para representar uma ameaça à civilização humana. No entanto, somente cerca de 150 desses grandes asteroides foram adequadamente rastreados por radar. Além disso, estima-se que cerca de 300.000 asteroides com pelo menos 90 metros de extensão cruzam a órbita da Terra. Lamentavelmente, os cientistas raras vezes conhecem as órbitas de qualquer desses asteroides menores.

Meu próprio encontro pessoal com um objeto extraterrestre deu-se quando eu estava no

quarto ano da faculdade em Harvard no inverno de 1967. Um grande amigo meu e colega de alojamento, que tinha um emprego em tempo parcial no observatório da universidade, contou-me um segredo muito bem guardado: os astrônomos de lá haviam detectado um asteroide gigantesco, com vários quilômetros de extensão, que rumava direto para o planeta Terra. Ademais, embora ainda fosse muito cedo para dizer, ele me informou que seus computadores calculavam que o asteroide poderia atingir a Terra em junho de 1968, a época de nossa formatura. Um objeto daquele tamanho iria fender a crosta da Terra, vomitar bilhões de toneladas de magma derretido e desencadear enormes terremotos e maremotos pelo mundo todo. À medida que os meses se passaram, eu obtinha atualizações periódicas do curso do asteroide do Dia do Juízo. Os astrônomos do observatório estavam sendo obviamente cautelosos para não causar pânico indevido com essa informação.

Vinte anos mais tarde, eu tinha esquecido tudo sobre o asteroide quando dei uma olhada num artigo sobre asteroides que passaram muito próximo da Terra. Sem dúvida ele fazia referência ao asteroide de 1968. Ao que parece, ele chegou a 1,6 milhão de quilômetros de um impacto direto com a Terra.

Mais raras, porém mais espetaculares que colisões com asteroides, são explosões de supernovas nas vizinhanças da Terra. Uma supernova libera enormes quantidades de energia, maiores que a produzida por centenas de bilhões de estrelas, até que por fim ultrapassa em brilho a própria galáxia. Ela cria uma explosão de raios X que seria suficiente para causar sérios distúrbios em qualquer sistema estelar próximo. No máximo, uma supernova próxima poderia criar um gigantesco EMP (electromagnetic pulse – pulso eletromagnético), semelhante àquele que seria desencadeado por uma bomba de hidrogênio detonada no espaço exterior. A explosão de raios X iria acabar por atingir nossa atmosfera, arrancando elétrons de átomos; os elétrons iriam então espiralar através do campo magnético da Terra, criando enormes campos elétricos. Esses campos são suficientes para apagar todos os aparelhos elétricos e de comunicações numa extensão de centenas de quilômetros, criando confusão e pânico. Numa guerra nuclear de grande escala, o EMP seria suficiente para apagar ou danificar quaisquer formas de aparelhos eletrônicos numa ampla área de concentração da população da Terra. De fato, na pior das hipóteses, a explosão de uma supernova nas vizinhanças de um sistema estelar poderia ser suficiente para destruir toda a vida.

O astrônomo Carl Sagan especula que um evento como esse pode ter extinto os dinossauros:

> Se houvesse por acaso uma supernova a dez ou 20 anos-luz do sistema solar cerca de 65 milhões de anos atrás, ela teria difundido um intenso fluxo de raios cósmicos no espaço, e parte deles, penetrando no envelope de ar da Terra, teria

queimado o nitrogênio atmosférico. Os óxidos de nitrogênio assim gerados teriam removido a camada protetora de ozônio da atmosfera, aumentando o fluxo de radiação solar ultravioleta na superfície e fritando e matando os muitos organismos imperfeitamente protegidos contra luz ultravioleta intensa.

Lamentavelmente, a supernova daria poucos avisos de sua explosão. A erupção de uma supernova ocorre muito rapidamente, e sua radiação se propaga à velocidade da luz, de modo que uma civilização Tipo I teria de fazer uma rápida fuga para o espaço exterior. A única precaução que uma civilização pode tomar é monitorar cuidadosamente aquelas estrelas próximas que estão no limiar de se tornar supernovas.

O fator de extinção Nêmesis

Em 1980, o falecido Luis Alvarez, seu filho Walter e Frank Asaro e Helen Michel, da Universidade da Califórnia em Berkeley, propuseram a hipótese de que um cometa ou asteroide atingiu a Terra 65 milhões de anos atrás, iniciando com isso vastos distúrbios atmosféricos que conduziram à súbita extinção dos dinossauros. Examinando os estratos rochosos depositados em leitos de rios 65 milhões de anos atrás, eles foram capazes de determinar a presença de quantidades inusitadas de irídio, que é raramente encontrado na Terra mas comumente em objetos extraterrestres, como meteoros. A teoria é bastante plausível, já que um cometa com oito quilômetros de diâmetro que atingisse a Terra a cerca de 30 quilômetros por segundo (dez vezes mais rápido que a velocidade de uma bala) teria a força de cem milhões de megatons de TNT (ou 10.000 vezes o arsenal nuclear total do mundo). Ele criaria uma cratera de 100 quilômetros de extensão e 30 quilômetros de profundidade, enviando escombros suficientes para bloquear toda a luz solar por um extenso período de tempo. As temperaturas cairiam drasticamente, e com isso a grande maioria das espécies neste planeta morreria ou teria sua população seriamente reduzida.

De fato, foi anunciado em 1992 que um forte candidato ao cometa ou asteroide que matou os dinossauros havia sido identificado. Já era sabido que existe uma grande cratera de impacto, com 180 quilômetros de extensão, no México, em Iucatã, perto da aldeia de Chicxulub Puerto. Em 1981, geofísicos a serviço da companhia nacional de petróleo mexicana, Pemex, disseram aos geólogos que haviam detectado no lugar anomalias gravitacionais e magnéticas que tinham forma circular. No entanto, somente depois que a teoria de Alvarez se tornou popular é que os geólogos analisaram ativamente os remanescentes do impacto cataclísmico. Métodos de datação radioativa usando argônio 39 mostraram que a cratera de Iucatã tem 64,98 ± 0,05 milhões de anos de idade. De maneira

mais impressionante: foi mostrado que o México, o Haiti e até a Flórida estão coalhados de pequenos fragmentos vítreos chamados *tektites*, que são provavelmente silicatos que foram vitrificados pelo impacto desse grande asteroide ou cometa. Esses *tektites* vitrificados podem ser encontrados em sedimento que foi depositado entre os períodos Terciário e Cretáceo. Análises de cinco diferentes amostras de *tektite* revelaram uma idade média de 65,07 ± 0,10 milhões de anos. Dada a precisão dessas medidas independentes, os geólogos têm agora pistas mais concretas que os levem a encontrar o asteroide ou cometa que matou os dinossauros.

Mas uma das características espantosas da vida na Terra é que a extinção dos dinossauros é apenas uma de várias extinções em massa bem documentadas. Outras extinções em massa foram muito piores que aquela que pôs fim ao período Cretáceo, 65 milhões de anos atrás. A extinção em massa que encerrou o período Permiano, por exemplo, destruiu completamente 96% de todas as espécies vegetais e animais 250 milhões de anos atrás. Os trilobitas, que controlavam os oceanos como uma das formas de vida dominantes da Terra, pereceram de forma misteriosa e abrupta durante essa grande extinção em massa. De fato, houve cinco extinções em massa de vida animal e vegetal. Se incluirmos extinções em massa menos bem documentadas, um padrão se torna evidente: a cada 26 milhões de anos, aproximadamente, há uma extinção em massa. Os paleontólogos David Raup e John Sepkoski mostraram que, se traçarmos num gráfico o número das espécies conhecidas na Terra em qualquer tempo dado, veremos uma queda acentuada no número de formas vivas na Terra a cada 26 milhões de anos, com a regularidade de um relógio. É possível mostrar que isso se estende por dez ciclos, remontando a 260 milhões de anos (excluindo dois ciclos).

Num ciclo de extinção, no fim do período Cretáceo, 65 milhões de anos atrás, a maioria dos dinossauros foi morta. Em outro ciclo de extinção, no fim do período Eoceno, 35 milhões de anos atrás, muitas espécies de mamíferos terrestres foram extintas. Mas o enigma central nisso é: por que cargas d'água um ciclo tem a duração de 26 milhões de anos? Uma pesquisa de dados biológicos, geológicos, ou até astronômicos sugere que nada tem um ciclo de 26 milhões de anos.

Richard Muller de Berkeley teorizou que nosso sol é na verdade parte de um sistema de estrela dupla, e que nossa estrela irmã (chamada Nêmesis ou Estrela da Morte) é responsável por extinções periódicas da vida na Terra. A conjetura é que nosso sol tem um imenso parceiro invisível que o circula a cada 26 milhões de anos. Quando passa pela nuvem de Oort (uma nuvem de cometas que supostamente existe além da órbita de Plutão), ele traz consigo uma avalanche de cometas, alguns dos quais atingem a Terra, provocando tantos escombros que a luz do Sol é bloqueada, sem poder atingir a superfície da Terra.

Indícios experimentais para corroborar essa inusitada teoria vêm do fato de que camadas geológicas do passado, correspondendo a cada ciclo de extinção, contêm quantidades inusitadamente grandes do elemento irídio. Como o irídio é naturalmente encontrado em meteoros extraterrestres, é possível que esses vestígios sejam remanescentes dos cometas enviados por Nêmesis. Atualmente, estamos a meio caminho entre ciclos de extinção, o que significa que Nêmesis, se é que existe, está em seu ponto mais afastado em sua órbita (provavelmente a vários anos-luz de distância). Isto nos daria cerca de mais de dez milhões de anos até sua próxima chegada.[q]

Felizmente, na época em que os cometas da nuvem de Oort atravessarem de novo o sistema solar, teremos atingido a condição Tipo III, o que significa que teremos conquistado não apenas as estrelas próximas, mas a viagem através do espaço-tempo.

A morte do Sol

Cientistas por vezes perguntam a si mesmos o que vai acontecer finalmente aos átomos de nossos corpos muito tempo depois de nossa morte. A possibilidade mais provável é que nossas moléculas vão acabar por retornar ao Sol.

Nosso sol é uma estrela de meia-idade. Tem aproximadamente cinco bilhões de anos e vai provavelmente permanecer uma estrela amarela por mais cinco bilhões de anos. Quando nosso sol exaurir seu suprimento de hidrogênio combustível, contudo, ele queimará hélio e se tornará vastamente inflado – uma gigante vermelha. Sua atmosfera vai se expandir rapidamente, acabando por se estender até a órbita de Marte, e a órbita da Terra vai ficar inteiramente dentro da atmosfera do Sol, de modo que a Terra será fritada pelas enormes temperaturas do Sol. As moléculas que compõem o nosso corpo, e de fato a própria Terra, serão consumidas pela atmosfera solar.

Sagan descreve o seguinte quadro:

> A bilhões de anos a partir de agora, haverá um último dia perfeito na Terra... As calotas de gelo ártica e antártica vão se derreter, inundando os litorais do mundo. As elevadas temperaturas oceânicas vão liberar mais vapor de água no ar, aumentando a nebulosidade, escudando a Terra da luz solar e atrasando um pouco o fim. Mas a evolução solar é inexorável. Por fim os oceanos vão ferver, a atmosfera vai se evaporar no espaço e uma catástrofe das mais imensas proporções imagináveis vai atingir nosso planeta.[8]

Assim, para os que desejam saber se a Terra será consumida no gelo ou no fogo, os físicos atualmente dão uma resposta clara. Ela será consumida no fogo. No entanto, é extremamente provável que os seres humanos, se tiverem sobrevivido até lá, terão há muito tempo

abandonado o sistema solar. Diferentemente do que ocorre no caso de uma supernova, há amplos avisos do falecimento do nosso sol.

A morte da galáxia

Numa escala de tempo de vários bilhões de anos, deveremos nos confrontar com o fato de que a Via Láctea, em que vivemos, vai morrer. Mais precisamente, vivemos no braço espiral de Órion da Via Láctea. Quando contemplamos o céu noturno e nos sentimos diminuídos pela imensidão das luzes celestes que pontilham o céu, estamos olhando realmente para uma minúscula porção das estrelas localizadas no braço de Órion. Os milhões de estrelas que inspiraram tanto amantes quanto poetas por gerações ocupam apenas uma parte minúscula do braço de Órion. As demais 200 bilhões de estrelas no seio da Via Láctea estão tão distantes que mal podem ser vistas como uma fita de névoa que atravessa o céu noturno.

A cerca de dois milhões de anos-luz da Via Láctea está nosso mais próximo vizinho galáctico, a grande galáxia de Andrômeda, que é duas a três vezes maior que nossa própria galáxia. As duas galáxias estão zunindo uma em direção à outra a 125 quilômetros por segundo e devem colidir dentro de cinco bilhões a dez bilhões de anos. Como disse o astrônomo Lars Hernquist, da Universidade da Califórnia em Santa Cruz, essa colisão "vai ser análoga a uma conquista hostil. Nossa galáxia será consumida e destruída".[9]

Para um observador situado no espaço exterior, a galáxia de Andrômeda parecerá colidir com a Via Láctea e absorvê-la lentamente. Simulações por computador de galáxias em colisão mostram que a atração gravitacional da galáxia maior sobrepuja lentamente a atração da galáxia menor e, depois de várias rotações, a galáxia menor será engolida. Mas como as estrelas no interior da Via Láctea são tão largamente separadas pelo vácuo do espaço, o número de colisões entre estrelas será bastante baixo, da ordem de várias colisões por século. Assim, nosso sol pode evitar uma colisão direta por um extenso período de tempo.

Por fim, nessa escala de tempo de bilhões de anos, temos um destino muito mais mortífero, a morte do próprio universo. Formas de inteligência muito engenhosas podem encontrar meios de construir arcas de Noé espaciais para evitar a maior parte das catástrofes naturais, mas como podemos evitar a morte do universo, quando o próprio espaço é nosso pior inimigo?

Os astecas acreditavam que o fim do mundo viria quando o Sol um dia caísse do céu. Previam que isso ocorreria "quando a Terra ficar cansada (...), quando a semente da Terra tiver terminado". As estrelas despencariam do céu.

Talvez eles estivessem próximos da verdade.

Pode-se ter a esperança de que, quando nosso sol começar a bruxulear, a humanidade terá há muito tempo deixado o sistema solar e atingido as estrelas. (De fato, na série *Fundação* de Asimov, o local de nosso sistema estelar original foi perdido há milhares de anos.) No entanto, inevitavelmente, *todas* as estrelas do céu vão bruxulear quando seu combustível nuclear estiver exaurido. Numa escala de dezenas a centenas de bilhões de anos, estamos contemplando a morte do próprio universo. Ou o universo é aberto, caso em que se expandirá para sempre até que as temperaturas cheguem gradualmente quase ao zero absoluto, ou é fechado, caso em que a expansão será invertida e ele vai morrer num Big Crunch incandescente. Mesmo para uma civilização Tipo III, esta é uma atemorizante ameaça à sua existência. Pode o domínio do hiperespaço salvar a civilização de sua catástrofe final, a morte do universo?

---

p. Nesse caso talvez não devêssemos ser tão entusiásticos com relação a fazer contato com extraterrestres inteligentes. Os cientistas assinalam que na Terra há dois tipos de animais: predadores, como gatos, cães e tigres (que têm os olhos na frente da cara, de modo a mirar seu alvo com precisão estereoscópica), e presas, como coelhos e veados (que têm olhos do lado da cara para poder olhar 360 graus à sua volta à procura dos predadores). Em geral, predadores são mais inteligentes que presas. Testes mostram que gatos são mais inteligentes que camundongos e raposas mais inteligentes que coelhos. Os seres humanos, com os olhos para a frente, são também predadores. Em nossa busca de vida inteligente no céu, deveríamos ter em mente que os alienígenas que encontrarmos terão também provavelmente evoluído de predadores.

q. Outra teoria que poderia explicar extinções periódicas nesta escala de tempo é a órbita de nosso sistema solar em torno da Via Láctea. Realmente, o sistema solar mergulha abaixo e acima do plano galáctico em sua órbita em torno da galáxia, de modo semelhante ao movimento para cima e para baixo que fazem os cavalos de um carrossel quando este gira. Quando mergulha periodicamente através do plano galáctico, o sistema solar pode encontrar grandes quantidades de poeira que perturbam a nuvem de Oort, trazendo para baixo uma saraiva da de cometas.

14

O destino do universo

Alguns dizem que o mundo vai acabar em fogo.
Alguns dizem em gelo.
Pelo que experimentei de desejo
Fico com aqueles que preferem o fogo.
Robert Frost

Enquanto não acabou, não acabou.
Yogi Berra

A possibilidade que tem uma civilização, seja na Terra ou no espaço exterior, de atingir o grau de desenvolvimento tecnológico necessário para utilizar a força do hiperespaço depende em parte, como vimos, da transposição de uma série de desastres típicos das civilizações de Tipo 0. O período de perigo são as primeiras várias centenas de anos após a aurora da era nuclear, quando o desenvolvimento tecnológico da civilização superou de longe sua maturidade social e política para lidar com conflitos regionais.

Quando tiver atingido a condição Tipo III, uma civilização terá conquistado uma estrutura social planetária avançada o suficiente para lhe permitir evitar a autoaniquilação e uma tecnologia poderosa o suficiente para evitar um desastre ecológico ou natural, como uma idade do gelo ou o colapso solar. No entanto, mesmo uma civilização do Tipo III terá dificuldade em evitar a catástrofe derradeira: a morte do próprio universo. Mesmo as mais possantes e mais sofisticadas das naves para viagem interestelar da civilização Tipo III serão incapazes de escapar ao destino final do universo.

Que o próprio universo deverá morrer era sabido pelos cientistas do século XIX. Charles Darwin, em sua *Autobiography*, escreveu sobre sua angústia ao compreender esse fato profundo mas deprimente: "Acreditando como acredito que o homem no futuro distante será uma criatura muito mais perfeita que agora, é intolerável pensar que ele e todos os demais seres sensíveis estão fadados à completa aniquilação após tão lento e prolongado progresso."[1]

O matemático e filósofo Bertrand Russell escreveu que a extinção definitiva da humanidade é uma causa de "obstinado desespero". No que é talvez uma das passagens mais deprimentes jamais escritas por um cientista, Russell registrou:

> Um homem é o produto de causas que não tinham previsão do fim que estavam realizando; que sua origem, seu

> crescimento, suas esperanças e medos, seus amores e suas crenças não passam do desfecho de disposições acidentais de átomos; que nenhum fogo, nenhum heroísmo, nenhuma intensidade de pensamento ou sentimento possam preservar a vida além do túmulo; que todos os labores de todas as eras, toda a devoção, toda a inspiração, todo o glorioso brilho do gênio humano sejam destinados à extinção na vasta morte do sistema solar; e todo o templo da realização do Homem deva ser inevitavelmente queimado sob os escombros de um universo em ruínas – todas estas coisas, se não acima de discussão, são contudo tão certas, que nenhum filósofo que as rejeite pode esperar permanecer. Somente sobre os andaimes destas verdades, somente sobre o fundamento firme do desespero obstinado, pode a habitação da alma ser construída com segurança.[2]

Russell escreveu esta passagem em 1923, décadas antes do advento da viagem espacial. A morte do sistema solar agigantava-se em sua mente, uma conclusão rigorosa das leis da física. Nos confins da tecnologia limitada de seu tempo, sua deprimente conclusão parecia inescapável. Desde aquele tempo, aprendemos o suficiente sobre evolução estelar para saber que nosso sol vai acabar por se tonar uma gigante vermelha e consumir a Terra em fogo nuclear. No entanto, também compreendemos as bases da viagem espacial. No tempo de Russell, a própria ideia de grandes naves capazes de pôr homens na Lua ou nos planetas era universalmente considerada uma ideia de maluco. No entanto, com o crescimento exponencial da tecnologia, a perspectiva da morte do sistema solar não é um evento tão temível para a humanidade, como vimos. Na época em que nosso sol se transformar numa gigante vermelha, a humanidade ou já terá perecido em poeira nuclear, ou, esperemos, terá encontrado seu legítimo lugar entre as estrelas.

Ainda assim, é uma simples questão de generalizar o "obstinado desespero" de Russell da morte de nosso sistema solar para a morte do universo inteiro. Nesse evento, parece que nenhuma arca de Noé espacial pode transportar a humanidade para fora da rota do perigo. A conclusão parece irrefutável; a física prevê que todas as formas de vida inteligente, não importa quão avançadas sejam, vão finalmente perecer quando o próprio universo morrer.

Segundo a teoria geral da relatividade de Einstein, o universo ou continuará a se expandir para sempre numa Lamúria Cósmica, caso em que ele atingirá temperaturas próximas do zero absoluto, ou vai se contrair até um colapso abrasador, o Big Crunch. O universo vai morrer no "gelo", como um universo aberto, ou em "fogo", como um universo fechado. De qualquer dos modos, uma civilização Tipo III está condenada porque as temperaturas vão se aproximar do zero absoluto ou do infinito.

Para dizer que destino nos espera, os cosmólogos usam as equações de Einstein para calcular a quantidade total de matéria-energia existente no universo. Como a matéria na equação de Einstein determina a curvatura do espaço-tempo, precisamos conhecer a densidade média de matéria do universo para determinar se existe matéria e energia suficientes para que

a gravitação reverta a expansão cósmica do Big Bang original. Um valor crítico para a densidade média da matéria determina o destino final do universo e de toda a vida inteligente nele. Se a densidade média do universo for menor que 10^{-29} grama por centímetro cúbico, o que corresponde a 10 miligramas de matéria espalhada sobre o volume da Terra, o universo continuará a se expandir para sempre, até se tornar um espaço uniformemente frio, sem vida. Contudo, se a densidade média for maior que esse valor, há suficiente matéria para a força gravitacional do universo inverter o Big Bang e sofrer as temperaturas abrasadoras do Big Crunch.

No momento, a situação experimental é confusa. Os astrônomos têm vários meios para medir a massa da galáxia, e portanto a massa do universo. O primeiro é contar o número de estrelas numa galáxia e multiplicar esse número pelo peso médio de cada estrela. Cálculos efetuados dessa tediosa maneira mostram que a densidade média é menor que a quantidade crítica, e que o universo vai continuar a se expandir para sempre. O problema com esse cálculo é que ele omite a matéria que não é luminosa (por exemplo, nuvens de poeira, buracos negros, estrelas anãs frias).

Há ainda uma segunda maneira de efetuar esse cálculo, que é usar as leis de Newton. Calculando o tempo que estrelas levam para se mover em torno de uma galáxia, os astrônomos podem usar as leis de Newton para estimar o total de massa de uma galáxia, tal como Newton usou o tempo que a Lua levava para orbitar a Terra para estimar a massa da Lua e da Terra.

O problema é o desacordo entres esses dois cálculos. De fato, os astrônomos sabem que até 90% da massa da galáxia estão na forma de “massa faltante” ou “matéria escura”, oculta, indetectável, que não é luminosa mas tem peso. Mesmo se incluirmos um valor aproximado para a massa do gás interestelar não luminoso, as leis de Newton preveem que a galáxia é muito mais pesada que o valor calculado pela contagem de estrelas.

Até que os astrônomos resolvam a questão dessa massa que falta ou matéria escura, não podemos concluir se o universo vai se contrair e se encolher numa bola abrasadora ou se vai expandir para sempre.

MORTE POR ENTROPIA

Suponha, por enquanto, que a densidade média do universo é menor que o valor crítico. Como o conteúdo de matéria-energia determina a curvatura espaço-tempo, vemos que não há matéria-energia suficiente para fazer o universo se contrair novamente. Ele irá portanto se expandir ilimitadamente até que sua temperatura atinja quase zero absoluto. Isso aumenta a

entropia (que mede a quantidade total de caos ou aleatoriedade no universo). Por fim, o universo morre de uma morte por entropia.

Já na virada do século, o físico e astrônomo inglês *Sir* James Jeans escreveu sobre a morte última do universo, que chamou de "morte pelo calor": "A segunda lei da termodinâmica prevê que só pode haver um fim para o universo – uma 'morte pelo calor' em que [a] temperatura é tão baixa de modo a tornar a vida impossível."[3]

Para compreender como a morte por entropia pode ocorrer, é importante compreender as três leis da termodinâmica, que governam todos os processos químicos e nucleares na Terra e nas estrelas. O cientista e escritor britânico C. P. Snow tem uma elegante maneira de relembrar as três leis:

1. *Você não pode ganhar* (isto é, você não pode obter alguma coisa por nada, porque matéria e energia são conservadas).
2. *Você não pode sair sem ganhar ou perder* (não pode retornar ao mesmo estado de energia, porque há sempre um aumento na desordem; a entropia sempre aumenta).
3. *Você não pode abandonar o jogo* (porque o zero absoluto é inatingível).

Para a morte do universo, a mais importante é a Segunda Lei, que afirma que todo processo cria um aumento líquido na quantidade de desordem (entropia) no universo. A Segunda Lei é na verdade uma parte integrante de nossas vidas cotidianas. Por exemplo, considere despejar creme numa xícara de café. A ordem (xícaras de creme e café separadas) transformou-se naturalmente em desordem (uma mistura aleatória de creme e café). No entanto, reverter a entropia, extraindo ordem da desordem, é extremamente difícil. "Desmisturar" o líquido de volta em xícaras separadas de creme e café é impossível sem um elaborado laboratório de química. Também, um cigarro aceso pode encher uma sala vazia de tufos de fumaça, aumentando a entropia naquela sala. A ordem (tabaco e papel) transformou-se de novo em desordem (fumaça e carvão). Reverter a entropia – isto é, forçar a fumaça de volta para o cigarro e transformar o carvão novamente em tabaco não queimado – é impossível mesmo com o mais excelente laboratório químico do planeta.

De maneira semelhante, todo mundo sabe que é mais fácil destruir do que construir. Pode-se levar um ano para construir uma casa, mas basta uma hora de fogo para destruí-la. A transformação de bandos errantes de caçadores na magnífica civilização asteca que floresceu no México e na América Central e construiu grandiosos monumentos a seus deuses levou quase 5.000 anos. No entanto, Cortez e os conquistadores precisaram de apenas alguns meses

para demolir essa civilização.

A entropia está crescendo incessantemente nas estrelas bem como no nosso planeta. No fim das contas, isso significa que as estrelas vão esgotar seu combustível nuclear e morrer, transformando-se em massas mortas de matéria nuclear. O universo vai escurecer à medida que as estrelas, uma por uma, cessarem de cintilar.

Dada nossa compreensão da evolução estelar, podemos pintar um quadro bastante sinistro de como o universo vai morrer. Todas as estrelas vão se tornar buracos negros, ou estrelas anãs frias (dependendo de suas massas) dentro de 10^{24} anos depois que suas fornalhas nucleares pararem. A entropia aumenta à medida que as estrelas resvalam pela curva da energia de ligação, até que mais nenhuma energia possa ser extraída por fusão de seu combustível nuclear. Dentro de 10^{32} anos, todos os prótons e nêutrons do universo vão provavelmente se desintegrar. Segundo as GUTs, os prótons e nêutrons são instáveis ao longo dessa vasta escala de tempo. Isso significa que toda a matéria tal como a conhecemos, inclusive a Terra e o sistema solar, vai se dissolver em partículas menores, como elétrons e neutrinos. Assim os seres inteligentes vão ter de encarar a desagradável possibilidade de que os prótons e nêutrons em seus corpos venham a se desintegrar. Os corpos dos organismos inteligentes não mais serão feitos dos cem elementos químicos conhecidos que são instáveis ao longo desse imenso período de tempo. A vida inteligente terá de encontrar meios de criar novos corpos feitos de energia, elétrons e neutrinos.

Após fantásticos 10^{100} anos (o numeral 1 seguido por cem zeros), a temperatura do universo vai atingir quase o zero absoluto. A vida inteligente nesse sinistro futuro vai enfrentar a perspectiva da extinção. Incapaz de ir em tropel para estrelas próximas, vai congelar até a morte. Mas mesmo num universo desolado, frio, a temperaturas próximas do zero absoluto, há uma última fonte bruxuleante de energia: os buracos negros. Segundo o cosmólogo Stephen Hawking, os buracos negros não são totalmente negros, mas vazam energia lentamente no espaço exterior ao longo de um período de tempo.

No futuro distante, buracos negros podem se tornar "preservadores de vida" porque evaporam energia lentamente. A vida inteligente iria necessariamente se congregar perto desses buracos negros e extrair energia deles para manter suas máquinas em funcionamento. Civilizações inteligentes, como trêmulas pessoas desabrigadas junto a um resto de fogo, seriam reduzidas à patética posição de miseráveis agarrados a um buraco negro.[4]

Mas, podemos perguntar, o que acontece depois de 10^{100} anos, quando os buracos negros em evaporação terão exaurido a maior parte de sua própria energia? Os astrônomos John D. Barrow, da Universidade de Sussex, e Joseph Silk, da Universidade da Califórnia em

Berkeley, advertem que essa pergunta pode em última análise não ter resposta a partir do conhecimento atual. Nessa escala de tempo, a teoria quântica, por exemplo, deixa aberta a possibilidade de que nosso universo possa "cavar um túnel" para outro universo.

As probabilidades de eventos desse tipo são extremamente pequenas; seria preciso esperar um intervalo de tempo maior que o tempo de vida de nosso atual universo, de modo que não precisamos temer que a realidade vá de repente entrar em colapso durante nosso tempo de vida, trazendo com ela um novo conjunto de leis físicas. No entanto, na escala de 10^{100} anos, esses tipos de eventos quânticos raros já não podem ser descartados.

Barrow e Silk acrescentam: "Onde há teoria quântica, há esperança. Nunca podemos estar completamente certos de que essa morte cósmica do calor vai ocorrer porque nunca podemos prever o futuro de um universo mecânico quântico com completa certeza; pois num futuro quântico infinito qualquer coisa que pode acontecer acabará acontecendo."[5]

FUGA ATRAVÉS DE UMA DIMENSÃO MAIS ELEVADA

A Lamúria Cósmica é de fato um destino sinistro que nos aguarda se a densidade média do universo for baixa demais. Agora suponha que a densidade média é maior que o valor crítico. Isso significa que o processo de expansão vai se reverter dentro de dezenas de bilhões de anos, e o universo vai terminar em fogo, não em gelo.

Nesse cenário, há suficiente matéria e portanto atração gravitacional forte o bastante no universo para deter a expansão, e então o universo vai começar a se retrair lentamente, tornando as galáxias distantes próximas de novo. A luz das estrelas vai se tornar "desviada para o azul", em vez de desviada para o vermelho, indicando que as estrelas estão se aproximando rapidamente umas das outras. As temperaturas mais uma vez vão se elevar a limites astronômicos. Finalmente, o calor poderá ser suficientemente grande para vaporizar toda a matéria em gás.

Seres inteligentes vão descobrir que os oceanos de seus planetas ferveram e que suas atmosferas se tornaram fornalhas que tudo ressecam. À medida que seus planetas começarem a se desintegrar, eles serão forçados a fugir para o espaço exterior em foguetes gigantes.

Até o santuário do espaço exterior pode se provar inóspito, contudo. As temperaturas vão acabar se elevando acima do ponto em que os átomos são estáveis, e os elétrons serão arrancados dos seus núcleos, criando um plasma (como aquele encontrado em nosso sol). Nesse ponto, a vida inteligente pode ter de construir gigantescos escudos em torno de suas naves e usar toda sua produção de energia para evitar que esses escudos se desintegrem com o

intenso calor.

À medida que as temperaturas continuarem a subir, os prótons e os nêutrons nos núcleos serão arrancados. Finalmente, os próprios prótons e nêutrons vão ser dilacerados em quarks. Como um buraco negro, o Big Crunch devora tudo. Nada sobrevive a ele. Assim, parece impossível que matéria comum, muito menos vida inteligente, possa sobreviver à violenta dilaceração.

No entanto, há uma fuga possível. Se todo o espaço-tempo está desabando num cataclisma abrasador, então a única maneira de escapar do Big Crunch é deixar o espaço e tempo – a fuga via hiperespaço. Isso pode não ser tão inacreditável como parece. Cálculos de computador efetuados com as teorias Kaluza-Klein e das supercordas mostraram que, momentos após a Criação, o universo tetradimensional se desenvolveu à custa do universo de seis dimensões. Portanto o destino final dos universos de quatro e de seis dimensões está ligado.

Supondo que este quadro básico esteja correto, nosso universo gêmeo de seis dimensões pode se expandir gradualmente, à medida que nosso universo tetradimensional se contrai. Momentos antes de nosso universo se encolher a nada, a vida inteligente pode se dar conta de que o universo de seis dimensões está se abrindo, e encontrar um meio de explorar esse fato.

A viagem interdimensional é impossível hoje porque nosso universo irmão se encolheu à escala de Planck. No entanto, nos estágios finais de um colapso, o universo irmão pode se abrir, tornando a viagem dimensional possível outra vez. Se o universo irmão se expandir o suficiente, então matéria e energia poderão fugir para ele, tornando uma abertura de escape possível para quaisquer seres inteligentes e perspicazes o bastante para calcular a dinâmica do espaço-tempo.

O falecido físico da Universidade de Colúmbia, Gerald Feinberg, especulou sobre essa remota chance de uma fuga à compressão final do universo através de dimensões extras:

> No momento isso não passa de um enredo de ficção científica. Se há mais dimensões que aquelas que conhecemos, ou espaço-tempo tetradimensional além daquele que habitamos, considero muito provável que haja fenômenos físicos que permitam conexões entre eles. Parece plausível que se a inteligência persistir no universo, ela tenha, em muito menos tempo que os muitos bilhões de anos que antecedem o Big Crunch, descoberto se há alguma verdade nesta especulação, e nesse caso como tirar vantagem dela.[6]

COLONIZAR O UNIVERSO

Quase todos os cientistas que investigaram a morte do universo, de Bertrand Russell aos cosmólogos contemporâneos, supuseram que a vida inteligente ficará praticamente indefesa em face da inevitável e agônica morte final do universo. Até a teoria de que seres inteligentes

podem cavar um túnel através do hiperespaço e evitar o Big Crunch presume que esses seres são vítimas passivas até os momentos finais do colapso.

No entanto, os físicos John D. Barrow, da Universidade de Sussex, e Frank J. Tipler, da Tulane University, em seu livro *The Anthropic Cosmological Principle*, afastaram-se do conhecimento convencional e concluíram justamente o oposto: que a vida inteligente, após bilhões de anos de evolução, irá desempenhar um papel ativo nos momentos finais do nosso universo. Eles adotam a ideia bastante pouco ortodoxa de que a tecnologia vai continuar a crescer exponencialmente ao longo de bilhões de anos, acelerando-se constantemente em proporção com a tecnologia existente. Quanto mais sistemas estelares os seres inteligentes tiverem colonizado, mais poderão colonizar. Barrow e Tipler argumentam que, ao longo de vários bilhões de anos, seres inteligentes terão colonizado completamente vastas porções do universo visível. Mas eles são conservadores: não pressupõem que a vida inteligente terá dominado a arte da viagem hiperespacial. Supõem apenas que seus foguetes vão viajar com velocidades próximas à da luz.

Esse cenário deveria ser levado a sério por várias razões. Primeiro, foguetes viajando a velocidades quase iguais à da luz (propelidos, digamos, por motores a fóton usando a potência de grandes raios *laser*) podem levar centenas de anos para atingir sistemas estelares distantes. Mas Barrow e Tipler acreditam que seres inteligentes vão prosperar por bilhões de anos, o que é tempo suficiente para colonizar sua própria galáxia e galáxias vizinhas mesmo em foguetes com velocidade inferior à da luz.

Sem pressupor a viagem no hiperespaço, Barrow e Tipler afirmam que seres inteligentes vão enviar milhões de pequenas "sondas von Neumann" em direção à galáxia com velocidades próximas à da luz para descobrir sistemas estelares adequados para a colonização. John von Neumann, o gênio matemático que desenvolveu o primeiro computador eletrônico na Universidade de Princeton durante a Segunda Guerra Mundial, provou rigorosamente que é possível construir robôs ou autômatos com a capacidade de programar-se a si próprios, consertar-se a si próprios e até criar cópias de si próprios. Assim Barrow e Tipler sugerem que as sondas von Neumann funcionarão de maneira independente de seus criadores. Estas pequenas sondas serão vastamente diferentes da atual geração de sondas *Viking* e *Pioneer*, que são pouco mais do que máquinas passivas, pré-programadas, que obedecem às ordens de seus senhores humanos. As sondas von Neumann serão similares ao *Astrochicken* de Dyson, só que muito mais poderosas e inteligentes. Elas entrarão em novos sistemas estelares, aterrissarão em planetas e minerarão a rocha em busca de substâncias químicas e metais adequados. Depois criarão um pequeno complexo industrial capaz de

produzir numerosas cópias robóticas de si mesmas. Dessas bases, mais sondas von Neumann serão lançadas para explorar ainda outros sistemas estelares.

Sendo autômatos autoprogramáveis, essas sondas não precisarão de instruções de seu planeta-mãe; vão explorar milhões de sistemas estelares exclusivamente por sua conta, fazendo apenas pausas periódicas para transmitir seus achados por rádio. Com milhões dessas sondas von Neumann espalhadas pela galáxia, criando milhões de cópias de si mesmas à medida que "comem" e "digerem" as substâncias químicas em cada planeta, uma civilização inteligente será capaz de abreviar o tempo gasto explorando sistemas estelares sem interesse. (Barrow e Tipler consideram até a possibilidade de que sondas von Neumann de civilizações distantes já tenham penetrado em nosso sistema solar. Talvez o monolito que figura tão misteriosamente em *2001: Uma odisseia no espaço* fosse uma sonda von Neumann.)

Na série *Jornada nas estrelas,* por exemplo, a exploração de outros sistemas estelares pela Federação é bastante primitiva. O processo de exploração depende totalmente das habilidades de seres humanos a bordo de um pequeno número de astronaves. Embora esse cenário possa dar lugar a intrigantes dramas de interesse humano, trata-se de um método de exploração estelar extremamente ineficiente, dado o grande número de sistemas planetários que são provavelmente inadequados à vida. Sondas von Neumann, embora possam não ter as interessantes aventuras do capitão Kirk ou do capitão Picard e suas tripulações, seriam mais adequadas para a exploração galáctica.

Barrow e Tipler fazem uma segunda suposição que é crucial para sua argumentação: a expansão do universo iria acabar por se tornar mais lenta e se reverter dentro de dezenas de bilhões de anos. Durante a fase de contração do universo, a distância entre as galáxias diminuiria, tornando muitíssimo mais fácil para seres inteligentes levar adiante a colonização das galáxias. À medida que a contração do universo se acelerar, a taxa de colonização de galáxias vizinhas vai se acelerar também, até que por fim todo o universo esteja colonizado.

Embora suponham que a vida inteligente vai povoar o universo inteiro, Barrow e Tipler ainda não conseguem explicar como alguma forma de vida será capaz de suportar as temperaturas e as pressões inacreditavelmente altas criadas pelo colapso final do universo. Eles admitem que o calor criado pela fase de contração será grande o suficiente para vaporizar qualquer ser vivo, mas talvez os robôs que eles criaram sejam suficientemente resistentes ao calor para suportar os momentos finais do colapso.

Nessas linhas, Isaac Asimov conjeturou como seres inteligentes poderiam reagir à morte final do universo. Em "The Last Question", ele formula a velha questão de se o universo deve inevitavelmente morrer, e o que acontecerá com toda a vida inteligente quando atingirmos o Dia do Juízo. Asimov, contudo, supõe que o universo terminará no gelo, e não no fogo, quando as estrelas cessarem de queimar hidrogênio e as temperaturas despencarem ao zero absoluto.

A história começa no ano 2061, quando um computador colossal resolveu os problemas de energia da Terra projetando no espaço um imenso satélite solar que é capaz de refletir a energia do Sol de volta para a Terra. O CA (computador analógico) é tão grande e avançado que seus técnicos têm apenas uma ideia muito vaga de como ele opera. Numa aposta de cinco dólares, dois técnicos bêbados perguntam ao computador se a morte final do Sol pode ser evitada ou se o universo deve morrer inevitavelmente. Depois de ruminar a pergunta silenciosamente, o CA responde: DADOS INSUFICIENTES PARA UMA RESPOSTA SIGNIFICATIVA.

Séculos mais tarde, o CA resolve o problema da viagem hiperespacial, e os seres humanos começam a colonizar milhares de sistemas estelares. O CA está tão grande que ocupa várias centenas de quilômetros quadrados em cada planeta e tão complexo que se mantém e se conserta a si mesmo. Uma jovem família está viajando em uma nave através do hiperespaço, certeiramente guiada pelo CA, em busca de um novo sistema estelar para colonizar. Quando o pai casualmente menciona que as estrelas vão acabar morrendo, as crianças ficam histéricas. "Não deixe as estrelas morrerem", suplicam. Para acalmar os filhos, o pai pergunta ao CA se a entropia pode ser revertida. "Vejam", tranquiliza o pai, lendo a resposta do CA, o CA pode resolver tudo. Ele os consola dizendo: "Ele vai tomar conta de tudo quando chegar a hora, por isso não se preocupem." Nunca contou aos filhos a resposta que o CA realmente exibiu: DADOS INSUFICIENTES PARA UMA RESPOSTA SIGNIFICATIVA.

Milhares de anos no futuro, a própria Galáxia foi colonizada. O CA resolveu o problema da imortalidade e do aproveitamento da energia da Galáxia, mas deve encontrar novas galáxias para colonização. O CA está tão complexo que há muito passou do ponto em que ninguém compreendia como funciona. Replaneja e aperfeiçoa continuamente os próprios circuitos. Dois membros do Conselho Galáctico, cada um com centenas de anos de idade, debatem a urgente questão de encontrar novas fontes de energia galáctica, e se perguntam se o próprio universo está esgotado. Pode a entropia ser revertida? perguntam. O CA responde: DADOS INSUFICIENTES PARA UMA RESPOSTA SIGNIFICATIVA.

Milhões de anos no futuro, a humanidade se espalhou por incontáveis galáxias do universo. O CA resolveu o problema de libertar a alma do corpo, e mentes humanas estão livres para

explorar a vastidão de milhões de galáxias, com seus corpos guardados em segurança num planeta há muito esquecido. Duas mentes se encontram por acidente no espaço exterior e casualmente se perguntam onde, entre as incontáveis galáxias, os seres humanos haviam se originado. O CA, que agora está tão grande que a maior parte dele tem de ser abrigada no hiperespaço, responde transportando-os instantaneamente para uma obscura galáxia. Eles ficam desapontados. A galáxia é tão comum, como milhões de outras, e a estrela original já morreu há muito tempo. As duas mentes ficam aflitas porque bilhões de estrelas no céu estão lentamente encontrando o mesmo destino. As duas mentes perguntam, pode a morte do próprio universo ser evitada? Do hiperespaço, o CA responde: DADOS INSUFICIENTES PARA UMA RESPOSTA SIGNIFICATIVA.

Bilhões de anos no futuro, a humanidade consiste em um trilhão de trilhão de trilhão de corpos imortais, todos cuidados por autômatos. A mente coletiva da humanidade, que é livre para perambular à vontade por toda parte no universo, acaba por se fundir numa única mente, que por sua vez se funde com o próprio CA. Já não faz mais sentido perguntar de que é feito o CA, ou onde no hiperespaço ele realmente está. "O universo está morrendo", pensa o Homem, coletivamente. Uma por uma, as estrelas e galáxias cessam de gerar energia, e as temperaturas por todo o universo se aproximam do zero absoluto. O Homem pergunta desesperadamente se o frio e a escuridão que lentamente vão engolfando as galáxias significam sua morte final. Do hiperespaço, o CA responde: DADOS INSUFICIENTES PARA UMA RESPOSTA SIGNIFICATIVA.

Quando o homem pede ao CA que colha os dados necessários, ele responde: FAREI ISSO. VENHO FAZENDO ISSO HÁ CEM BILHÕES DE ANOS. MEUS PREDECESSORES RECEBERAM ESSA PERGUNTA MUITAS VEZES. TODOS OS DADOS QUE POSSUO PERMANECEM INSUFICIENTES.

Uma eternidade passa, e o universo finalmente atingiu sua morte final. Do hiperespaço, o CA gasta uma eternidade coletando dados e contemplando a questão final. Por fim, o CA descobre a solução, ainda que não haja mais ninguém para quem dar a resposta. O CA formula cuidadosamente um programa e então dá início ao processo de reversão do Caos. Reúne frio, gás interestelar, junta estrelas mortas, até que uma bola gigantesca é criada.

Então, quando seus labores estão feitos, do hiperespaço CA brada: FAÇA-SE A LUZ!

E a luz se fez…

E no sétimo dia, Ele descansou.

15

Conclusão

O conhecido é finito, o desconhecido é infinito; intelectualmente, situamo-nos numa ilhota no meio de um ilimitável oceano de inexplicabilidade. Nosso negócio a cada geração é resgatar um pouco mais de terra.

Thomas H. Huxley

Talvez a mais profunda descoberta do último século na física tenha sido a compreensão de que a natureza, em seu nível mais fundamental, é mais simples do que todos pensavam. Embora a complexidade matemática da teoria das dez dimensões tenha subido a alturas vertiginosas, abrindo novas áreas da matemática no processo, os conceitos básicos que levam adiante a unificação, como hiperespaço e cordas, são basicamente simples e geométricos.

Embora seja cedo demais para dizer, futuros historiadores da ciência, quando voltarem os olhos para o tumultuado século XX, poderão ver que uma das grandes revoluções conceituais foi a introdução de teorias do espaço-tempo com dimensões múltiplas, como as teorias das supercordas e do tipo Kaluza-Klein. Assim como Copérnico simplificou o sistema solar com sua série de círculos concêntricos e destronou a Terra de seu papel central no céu, as teorias de dez dimensões prometem simplificar vastamente as leis da natureza e destronar o mundo familiar de três dimensões. Como vimos, a compreensão decisiva é que uma descrição tridimensional do mundo, como o Modelo Padrão, é "pequena demais" para unir todas as forças fundamentais da natureza numa teoria abrangente. Apertar as quatro forças fundamentais numa teoria tridimensional cria uma descrição feia, forçada e em última análise incorreta da natureza.

Assim, a principal corrente que dominou a física teórica na última década foi a compreensão de que as leis fundamentais da física parecem mais simples em dimensões múltiplas, e que todas as leis da física parecem ser unificadas em dez dimensões. Essas teorias nos permitem reduzir um número enorme de informações de uma maneira concisa, elegante, que une as duas maiores teorias do século XX: a teoria quântica e a relatividade geral. Talvez seja tempo de explorar algumas das muitas implicações que a teoria de dez dimensões tem para o futuro da física e da ciência, o debate entre reducionismo e holismo na natureza, e a relação estética entre física, matemática, religião e filosofia.

Quando somos apanhados na excitação e no tumulto que acompanham o nascimento de toda grande teoria, tendemos a esquecer que, em última análise, todas as teorias devem ser testadas contra o leito de rocha firme do experimento. Por mais elegante ou bonita que pareça, a teoria está condenada a entrar em desacordo com a realidade.

Goethe escreveu certa vez: "Cinzento é o dogma, mas verde é a árvore da vida." A história comprovou repetidamente a correção dessa pungente observação. Há muitos exemplos de teorias antigas, incorretas, que persistiram teimosamente durante anos, sustentadas somente pelo prestígio de cientistas tolos mas bem relacionados. Por vezes, torna-se até politicamente arriscado opor-se ao poder de cientistas consagrados e agarrados a suas ideias. Muitas dessas teorias só foram mortas quando um experimento decisivo expôs sua incorreção.

Por exemplo, por causa da fama e da considerável influência de Hermann von Helmholtz na Alemanha do século XIX, sua teoria do eletromagnetismo foi muito mais popular entre os cientistas que a teoria relativamente obscura de Maxwell. Mas, por mais célebre que Helmholtz fosse, no fim das contas o experimento confirmou a teoria de Maxwell e relegou a de Helmholtz à obscuridade. De maneira semelhante, quando Einstein propôs sua teoria da relatividade, muitos cientistas politicamente poderosos da Alemanha nazista, como o prêmio Nobel Philip Lenard, perseguiram-no até que ele foi expulso de Berlim em 1933. Assim o trabalho de guarda em qualquer ciência, e especialmente na física, é feito pelo experimentalista, que tem a tarefa de impor a honestidade aos teóricos.

Victor Weisskopf, um físico teórico que trabalha no MIT, certa vez resumiu a relação entre ciência teórica e experimental ao observar que há três tipos de físicos: os construtores de máquinas (que constroem os aceleradores de partículas que tornam o experimento possível), os experimentalistas (que planejam e executam o experimento) e os teóricos (que concebem a teoria para explicar o experimento). Em seguida comparou essas três classes com a viagem de Colombo à América. Observou que

> os construtores de máquinas correspondem aos capitães e construtores de navios que realmente desenvolviam as técnicas naquele tempo. Os experimentalistas eram aqueles sujeitos que velejavam no navio para o outro lado do mundo e depois se plantavam sobre as novas ilhas e simplesmente escreviam o que estavam vendo. Os físicos teóricos eram aqueles camaradas que ficavam lá em Madri e diziam a Colombo que ele iria aportar na Índia.[1]

Se, no entanto, as leis da física forem unidas em dez dimensões somente em energias muito acima de tudo que é acessível com nossa tecnologia atual, o futuro da física experimental está em risco. No passado, cada geração de aceleradores de partículas produziu uma nova geração de teorias. Esse período pode estar prestes a se encerrar.

Embora todos esperassem novas surpresas se o SSC se tornasse operacional por volta do

ano 2000, alguns estavam apostando que ele iria simplesmente reconfirmar a correção do nosso atual Modelo Padrão. Muito provavelmente, os experimentos decisivos que irão confirmar ou refutar a correção da teoria de dez dimensões não poderão ser realizados em tempo algum no futuro próximo. Talvez estejamos ingressando num longo e seco período de tempo em que a pesquisa em teorias de dez dimensões se tornará um exercício de matemática pura. Todas as teorias derivam seu poder e força do experimento, que é como solo fértil, capaz de nutrir e sustentar um campo de plantas florescentes uma vez que elas se enraízam. Se o solo se tornar estéril e seco, as plantas vão secar com ele.

David Gross, um dos criadores da teoria heterótica das cordas, comparou o desenvolvimento da física com a relação entre dois alpinistas:

> Em geral, quando estávamos escalando a montanha da natureza, os experimentalistas caminhavam à frente. Os preguiçosos teóricos vinham bem atrás. De vez em quando eles jogavam para baixo uma pedra experimental que ricocheteava nas nossas cabeças. Finalmente agarrávamos a ideia e seguíamos o caminho que fora aberto pelos experimentalistas... Mas agora nós, teóricos, temos de tomar a dianteira. Este é um empreendimento muito mais solitário. No passado, sempre sabíamos onde os experimentalistas estavam e assim o que devíamos ter em mira. Agora não temos nenhuma ideia do tamanho da montanha, nem de onde é seu pico.

Embora os experimentalistas tenham tradicionalmente tomado a frente na abertura de novos territórios, a nova era na física pode ser excepcionalmente díficil, forçando os teóricos a assumir a liderança, como Gross observa.

O SSC provavelmente teria encontrado novas partículas. As partículas de Higgs poderiam ter sido descobertas, ou "superparceiros" dos quarks poderiam ter aparecido, ou talvez uma subcamada abaixo dos quarks poderia ter sido revelada. No entanto, se a teoria se mantiver, as forças básicas que aglutinam essas partículas irão ser as mesmas. Poderíamos ter visto campos de Yang-Mills e glúons mais complexos surgindo do SSC, mas esses campos podem representar apenas grupos de simetrias cada vez maiores, representando fragmentos da simetria E(8) x E(8) ainda maior que surgem da teoria das cordas.

Em certo sentido, a origem dessa relação incômoda entre teoria e experimento decorre do fato de que essa teoria representa, como Witten observou, "física do século XXI que acidentalmente caiu no século XX".[2] Porque a dialética natural entre teoria e experimento foi rompida pela descoberta fortuita e acidental da teoria em 1968, talvez tenhamos de aguardar até o século XXI, quando contamos com a chegada de novas tecnologias que irão, esperemos, inaugurar uma nova geração de aceleradores de partículas, contadores de raios cósmicos e sondas espaciais profundas. Talvez esse seja o preço que devemos pagar por termos tido uma "pré-estreia" proibida da física do próximo século. Talvez até lá, por meios indiretos,

possamos ter experimentalmente um vislumbre da décima dimensão em nossos laboratórios.

DEZ DIMENSÕES E FILOSOFIA: REDUCIONISMO *VERSUS* HOLISMO

Qualquer teoria importante tem repercussões igualmente importantes na tecnologia e nos fundamentos da filosofia. O nascimento da relatividade geral abriu novas áreas de pesquisa na astronomia e praticamente criou a ciência da cosmologia. As implicações filosóficas do Big Bang reverberaram em todas as comunidades filosóficas e teológicas. Alguns anos atrás, isso levou até cosmólogos eminentes a ter uma audiência com o papa no Vaticano para discutir as implicações da teoria do Big Bang sobre a Bíblia e sobre o Gênese.

Da mesma maneira, a teoria quântica deu origem à ciência das partículas subatômicas e ajudou a estimular a atual revolução na eletrônica. O transístor – a cavilha de roda da moderna sociedade tecnológica – é um invento puramente mecânico quântico. Igualmente profundo foi o impacto que o Princípio de Incerteza de Heisenberg teve no debate sobre o livre-arbítrio e o determinismo, afetando o dogma religioso sobre o papel do pecado e da redenção para a Igreja. Tanto a Igreja Católica quanto a Presbiteriana, com grande interesse ideológico no resultado dessa controvérsia sobre predestinação, foram afetadas por esse debate sobre a mecânica quântica. Embora as implicações da teoria de dez dimensões ainda sejam obscuras, esperamos em última análise que a revolução que está germinando agora no campo da física vai ter um efeito de longo alcance uma vez que ela se torne acessível às pessoas comuns.

Em geral, contudo, a maioria dos físicos se sente pouco à vontade quando fala em filosofia. São pragmatistas supremos. Topam com leis físicas não por projeto ou ideologia, mas em grande parte por tentativa e erro e por suposições perspicazes. Os físicos mais jovens, que fazem a parte do leão das pesquisas, estão ocupados demais descobrindo novas teorias para gastar tempo filosofando. Os físicos mais jovens, na verdade, olham com desconfiança para físicos mais velhos quando eles gastam tempo demais sentados em ilustres comitês políticos ou pontificando sobre a filosofia da ciência.

A maioria dos físicos acha que, afora a vaga noção de "verdade" e "beleza", a filosofia não tem por que se intrometer em seu domínio privado. Em geral, afirmam, a realidade sempre se provou muito mais sofisticada e sutil que qualquer filosofia preconcebida. Eles nos lembram algumas figuras famosas na ciência que, em seus anos de declínio, adotaram ideias filosóficas embaraçosamente excêntricas que levaram a becos sem saída.

Quando confrontados com questões filosóficas viscosas, tal como o papel da "consciência"

na efetuação da medida quântica, os físicos em sua maioria dão de ombros. Desde que possam calcular o resultado de um experimento, realmente não se importam com suas implicações filosóficas. De fato, Richard Feynman quase fez carreira tentando expor as pretensões pomposas de certos filósofos. Quanto maiores são sua retórica empolada e vocabulário erudito, pensava ele, mais fraca é a fundamentação científica de seus argumentos. (Ao debater os méritos relativos da física e da filosofia, sou por vezes levado a me lembrar da nota escrita por um reitor anônimo de universidade que analisou as diferenças entre eles. Ele escreveu: "Por que é que vocês físicos sempre exigem tanto equipamento caro? Ora, o Departamento de Matemática não pede nada além de dinheiro para papel, lápis e cestas para papel e o Departamento de Filosofia é melhor ainda. Não pede nem cestas para papel.")[3]

No entanto, embora o físico médio não se incomode com questões filosóficas, os maiores entre eles se incomodavam. Einstein, Heisenberg e Bohr passavam longas horas em acaloradas discussões, lutando até altas horas da noite com o significado da medida, o problema da consciência e o significado de probabilidade em seu trabalho. Assim, é legítimo perguntar como teorias de dimensões múltiplas se refletem nesse conflito filosófico, especialmente no tocante ao debate entre "reducionismo" e "holismo".

Heinz Pagels disse certa vez: "Somos apaixonados por nossa experiência da realidade, e a maioria de nós projeta suas esperanças e medos no universo."[4] É inevitável portanto que questões filosóficas e até pessoais penetrem na discussão sobre teorias de dimensões múltiplas. Inevitavelmente, o renascimento de dimensões múltiplas na física vai reacender o debate entre "reducionismo" e "holismo" que foi desencadeado, e encerrado, na década passada.

O *Webster's Collegiate Dictionary* define *reducionismo* como um "procedimento ou teoria que reduz dados ou fenômenos complexos a termos simples". Esta foi uma das filosofias que nortearam a física subatômica – reduzir átomos e núcleos a seus componentes básicos. Por exemplo, o fenomenal sucesso experimental do Modelo Padrão em explicar as propriedades de centenas de partículas subatômicas mostra que há mérito em buscar os blocos construtores da matéria.

O *Webster's Collegiate Dictionary* define *holismo* como a "teoria de que os fatores determinantes, esp. na natureza viva, são todos irredutíveis". Essa filosofia sustenta que a filosofia ocidental, que tende a fragmentar coisas em seus componentes, é excessivamente simplista, que se perde o quadro mais amplo, que pode conter informação de importância vital. Por exemplo, pense numa colônia de formigas contendo milhares de integrantes que obedecem a regras complexas e dinâmicas de comportamento social. A questão é: qual é a

melhor maneira de compreender o comportamento de uma colônia de formigas? O reducionista iria fragmentar as formigas em seus constituintes: moléculas orgânicas. No entanto, pode-se passar centenas de anos dissecando formigas e analisando sua composição molecular sem encontrar as mais simples pistas sobre o modo como uma colônia se comporta. A solução óbvia é analisar o comportamento de uma colônia de formigas com um todo integral, sem fragmentá-la.

De maneira semelhante, esse debate gerou considerável controvérsia na área da pesquisa do cérebro e da inteligência artificial. A abordagem reducionista consiste em reduzir o cérebro às suas unidades básicas, as células, e tentar reconstruir o cérebro a partir delas. Toda uma escola de pesquisa em inteligência artificial sustentou que criando circuitos digitais elementares poderíamos compor circuitos cada vez mais complexos, até que criássemos inteligência artificial. Embora essa escola de pensamento tenha tido um sucesso inicial na década de 1950, modelando "inteligência" nos moldes dos modernos computadores digitais, ela se provou desapontadora porque não era capaz de imitar nem mesmo as mais simples funções do cérebro, como o reconhecimento de padrões numa fotografia.

A segunda escola de pensamento tentou adotar uma abordagem mais holística ao cérebro. Ela tenta definir as funções do cérebro e criar modelos que o tratam como um todo. Embora isso tenha se provado mais difícil de iniciar, guarda uma grande promessa porque certas funções cerebrais que consideramos naturais (por exemplo, tolerância ao erro, ponderação da incerteza e estabelecimento de associações criativas entre diferentes objetos) são introduzidas no sistema desde a partida. A teoria da rede neural, por exemplo, usa aspectos desta abordagem orgânica.

Cada lado deste debate reducionista-holístico tem uma visão muito vaga do outro. Em suas esforçadas tentativas de desmascarar o outro, por vezes apenas diminuem a si mesmos. Com frequência falam os dois ao mesmo tempo, sem que um considere as principais ideias do outro.

A tendência no debate, nos últimos anos, é o reducionismo declarar vitória sobre o holismo. Recentemente, apareceu na imprensa popular uma rajada de afirmações feitas pelos reducionistas de que os sucessos do Modelo Padrão e da teoria GUT justificam a redução da natureza a constituintes menores e mais básicos. Investigando até os elementares quarks, léptons e campos de Yang-Mills, os físicos finalmente isolaram os constituintes básicos da matéria. Por exemplo, o físico James S. Trefil da Universidade da Virgínia faz uma crítica ao holismo ao escrever sobre o "Triunfo do Reducionismo":

> Durante as décadas de 1960 e 1970, quando a complexidade do mundo das partículas estava sendo evidenciada em um

> experimento após outro, alguns físicos perderam a fé na filosofia reducionista e começaram a procurar orientação fora da tradição ocidental. Em seu livro *O tao da física*, por exemplo, Fritjhof Capra afirmou que a filosofia do reducionismo havia falhado e que era hora de adotar uma visão mais holística, mística, da natureza... A década de 1970 [no entanto] pode ser concebida como o período em que as grandes tradições do pensamento científico ocidental, aparentemente ameaçadas pelos avanços da ciência do século XX, foram inteiramente justificadas. Presumivelmente, vai levar algum tempo para que essa compreensão avance para além de um pequeno grupo de físicos teóricos e se incorpore à nossa visão geral de mundo.[5]

Os discípulos do holismo, contudo, invertem esse debate. Afirmam que a ideia de unificação, talvez o tema mais importante de toda a física, é holística, não reducionista. Lembram como os reducionistas tendiam às vezes a rir às costas de Einstein nos últimos anos de sua vida, dizendo que ele estava ficando senil ao tentar unir todas as forças do mundo. A descoberta de padrões unificadores na física foi uma ideia que teve Einstein como pioneiro, não os reducionistas. Além disso, a incapacidade dos reducionistas de oferecer uma solução convincente para o paradoxo do gato de Schrödinger mostra que eles simplesmente optaram por ignorar as questões mais profundas, filosóficas. Os reducionistas podem ter tido grandes sucessos com a teoria de campo quântica e o Modelo Padrão, mas esse sucesso está baseado essencialmente em areia, porque a teoria quântica, em última análise, é uma teoria incompleta.

Ambos os lados, é claro, têm méritos. Cada um está meramente contemplando diferentes aspectos de um problema difícil. No entanto, levado a extremos, esse debate por vezes degenera numa batalha entre o que chamo ciência beligerante *versus* ciência do não sabe nada.

A ciência beligerante massacra a oposição com uma visão rígida e pesada de ciência que mais aliena do que persuade. A ciência beligerante procura ganhar pontos num debate, mais do que conquistar o público. Em vez de apelar para os melhores instintos do público leigo apresentando-se como o defensor da razão iluminada e do experimento fundamentado, ela aparece como uma nova Inquisição espanhola. A ciência beligerante é ciência com uma índole provocadora. Seus cientistas acusam os holistas de terem miolo mole, de confundirem a sua física, de jogar palavreado fora para encobrir sua ignorância. Assim, a ciência beligerante pode estar ganhando as batalhas individuais, mas essencialmente está perdendo a guerra. Em cada embate um a um a ciência beligerante pode surrar a oposição exibindo montanhas de dados e Ph.Ds eruditos. No entanto, a longo prazo, a arrogância e o orgulho podem acabar tendo efeito contrário ao desejado, alienando o próprio público que se está tentando persuadir.

A ciência do não sabe nada vai para o extremo oposto, rejeitando o experimento e abraçando qualquer filosofia popular que apareça. A ciência do não sabe nada vê fatos desagradáveis como meros detalhes, e a filosofia geral como tudo. Se os fatos não parecem se encaixar na filosofia, então obviamente alguma coisa está errada com os fatos. A ciência do não sabe nada se apresenta com um programa pré-formado, baseado mais em realização

pessoal que em observação objetiva, e tenta se encaixar na ciência como uma reflexão tardia.

A divisão entre essas duas facções apareceu primeiro durante a guerra do Vietnã, quando a geração *hippie* estava consternada pelo uso maciço, excessivo, de tecnologia mortífera contra uma nação camponesa. Mas talvez a área em que esse legítimo debate irrompeu mais recentemente tenha sido a da saúde pessoal. Por exemplo, lobistas bem pagos da poderosa agroindústria e do setor de produtos de alimentação nas décadas de 1950 e 1960 exerceram considerável influência sobre o Congresso americano e o *establishment* médico, impedindo um exame completo dos efeitos danosos de colesterol, tabaco, gorduras animais, pesticidas e certos aditivos alimentares sobre a doença cardíaca e o câncer, que hoje estão plenamente documentados.

Um exemplo recente foi o escândalo que envolveu o clamor relacionado com o pesticida Alar nas maçãs. Quando os ambientalistas do National Resources Defense Council anunciaram que os níveis correntes de pesticidas nas maçãs poderiam matar mais de 5.000 crianças, provocaram preocupação entre os consumidores e indignação no setor de produtos alimentícios, que os denunciou como alarmistas. Depois foi revelado que o relatório usou números e dados do governo federal para chegar a essas conclusões. Isso, por sua vez, implicava que a Food and Drug Administration estava sacrificando crianças em nome de um "risco aceitável".

Ademais, as revelações sobre a possível contaminação generalizada de nossa água potável por chumbo, que pode causar sérios problemas neurológicos em crianças, só serviram para baixar o prestígio da ciência para a maioria dos americanos. A medicina, a indústria de alimentos e a indústria química começaram a ganhar o descrédito de amplas porções da sociedade. Esses e outros escândalos também contribuíram para a intensificação das dietas saudáveis, a maioria das quais é bem-intencionada, mas algumas não são cientificamente fundamentadas.

SÍNTESE MAIS ELEVADA EM DIMENSÕES MÚLTIPLAS

Esses dois pontos de vista filosóficos, aparentemente incompatíveis, devem ser considerados de uma perspectiva mais ampla. Eles só são antagônicos quando vistos em sua forma extrema.

Talvez uma síntese mais elevada de ambos os pontos de vista resida em dimensões múltiplas. A geometria, quase por definição, não pode se ajustar ao modo reducionista habitual. Estudando um minúsculo fio de fibra, não temos como compreender toda a tapeçaria. Da mesma maneira, isolando uma região microscópica de uma superfície, não podemos

determinar a estrutura geral da superfície. Dimensões múltiplas, por definição, implicam que devemos tomar o ponto de vista mais amplo, global.

Da mesma maneira, a geometria não é também puramente holística. A simples observação de que uma superfície multidimensional é esférica não fornece a informação necessária para se calcular as propriedades dos quarks nela contidos. O modo preciso como uma dimensão se enrosca numa bola determina a natureza das simetrias dos quarks e glúons que vivem nessa superfície. Assim, o holismo por si só não nos fornece os dados necessários para transformar a teoria das dez dimensões numa teoria fisicamente relevante.

A geometria de maior número de dimensões, em certo sentido, nos força a compreender a unidade entre as abordagens holística e reducionista. Elas são simplesmente duas maneiras de abordar a mesma coisa: a geometria. São as duas faces da mesma moeda. Do ponto de vista privilegiado da geometria, não faz diferença que nos aproximemos dela de um ponto de vista reducionista (reunindo quarks e glúons num espaço Kaluza-Klein) ou do ponto de vista holístico (tomando uma superfície Kaluza-Klein e descobrindo as simetrias dos quarks e glúons).

Podemos preferir uma abordagem a outra, mas isso apenas para fins históricos ou pedagógicos. Por razões históricas, podemos enfatizar que as raízes reducionistas da física subatômica, frisando como os físicos das partículas, ao longo de um período de quarenta anos, juntaram três das forças fundamentais despedaçando átomos, ou podemos adotar uma abordagem mais holística e afirmar que a unificação final das forças quânticas com a gravidade implica uma profunda compreensão da geometria. Isso nos leva a abordar a física das partículas através de Kaluza-Klein e da teoria das cordas e a conceber o Modelo Padrão como uma consequência do enroscamento do espaço hiperdimensional.

As duas abordagens são igualmente válidas. Em nosso livro *Beyond Einstein: The Cosmic Quest for the Theory of the Universe*, Jennifer Trainer e eu adotamos uma abordagem mais reducionista e descrevemos como as descobertas de fenômenos no universo visível acabam por levar a uma descrição geométrica da matéria. Neste livro, adotamos a abordagem oposta, começando com o universo invisível e tomando o conceito de que as leis da natureza se simplificam em dimensões múltiplas como nosso tema básico. No entanto, ambas as abordagens produzem o mesmo resultado.

Por analogia, podemos discutir a controvérsia quanto ao lado "esquerdo" e "direito" do cérebro. Os neurologistas que fizeram originalmente a descoberta experimental de que os hemisférios esquerdo e direito de nosso cérebro realizam funções nitidamente distintas ficaram desolados porque seus dados foram grosseiramente distorcidos na imprensa popular.

Experimentalmente, eles descobriram que quando alguém é apresentado a uma fotografia, o olho esquerdo (ou o lado direito do cérebro) presta mais atenção a detalhes particulares, enquanto o olho direito (ou o lado esquerdo do cérebro) apreende mais facilmente a foto inteira. No entanto, eles ficaram perturbados quando divulgadores começaram a dizer que o lado esquerdo era o "cérebro holístico" e o lado direito era o "cérebro reducionista". Isso punha a distinção entre os dois hemisférios cerebrais fora de contexto, resultando em muitas interpretações extravagantes sobre o modo como uma pessoa deveria organizar seus pensamentos no dia a dia.

Uma abordagem mais correta à função cerebral, eles achavam, era dizer que o cérebro usa necessariamente ambas as metades em sincronia, que a dialética entre os dois lados do cérebro é mais importante que a função específica de cada metade individualmente. A dinâmica verdadeiramente interessante tem lugar quando ambas as metades do cérebro interagem em harmonia.

De maneira semelhante, quem quer que veja a vitória de uma filosofia sobre a outra nos avanços recentes da física está talvez lendo demais nos dados experimentais. Talvez a conclusão mais segura a que podemos chegar seja a de que a ciência se beneficia mais da intensa interação entre essas duas filosofias.

Vejamos como isso tem lugar concretamente, analisando como a teoria hiperdimensional nos dá uma resolução entre filosofias diametralmente opostas, usando dois exemplos, o gato de Schrödinger e a teoria da matriz S.

O GATO DE SCHRÖDINGER

Os discípulos do holismo por vezes atacam o reducionismo golpeando a teoria quântica onde ela é mais fraca, na questão do gato de Schrödinger. Os reducionistas não conseguem dar uma explicação razoável para os paradoxos da mecânica quântica.

A característica mais embaraçosa da teoria quântica, como nos lembramos, é que um observador é necessário para fazer uma mensuração. Assim, antes que a observação seja feita, gatos podem estar mortos ou vivos e a lua pode estar ou não no céu. Em geral, isso seria considerado maluco, mas a mecânica quântica foi verificada repetidamente em laboratório. Uma vez que o processo de fazer uma observação requer um observador, e uma vez que um observador requer consciência, os discípulos do holismo afirmam que deve existir uma consciência cósmica para explicar a existência de qualquer objeto.

Teorias hiperdimensionais não resolvem essa difícil questão por completo, mas certamente

a põem sob uma nova luz. O problema reside na distinção entre o observador e o observado. No entanto, na gravidade quântica nós escrevemos a função de onda de todo o universo. Não há mais distinção entre o observador e o observado; a gravidade quântica permite a existência apenas da função de onda de tudo.

No passado, tais afirmações eram destituídas de sentido porque a gravidade quântica não existia realmente como uma teoria. Divergências afloravam toda vez que alguém queria fazer um cálculo fisicamente relevante. Assim, o conceito de uma função de onda para todo o universo, embora atraente, não tinha sentido. Contudo, com a chegada da teoria de dez dimensões, o sentido da função de onda do universo inteiro torna-se um conceito relevante de novo. Cálculos com a função de onda do universo podem recorrer ao fato de que a teoria é em última análise uma teoria de dez dimensões, e é portanto renormalizável.

Essa solução parcial para a questão da observação toma mais uma vez o melhor de ambas as filosofias. Por um lado, esse quadro é reducionista porque adere estreitamente à explicação mecânico-quântica padrão da realidade, sem recurso à consciência. Por outro lado, é também holístico porque parte da função de onda do universo inteiro, que é a máxima expressão holística! Esse quadro não faz distinção entre observador e observado. Nele, tudo, inclusive todos os objetos e seus observadores, está incluído na função de onda.

Esta é ainda somente uma solução parcial, porque a própria função de onda cósmica, que descreve o universo inteiro, não vive em nenhum estado definido, sendo na realidade um compósito de todos os universos possíveis. Assim o problema da indeterminação, primeiro descoberto por Heisenberg, é agora ampliado para o universo inteiro.

A menor unidade que se pode manipular nessas teorias é o próprio universo, e a menor unidade que se pode quantificar é o espaço de todos os possíveis universos, o que inclui gatos, tanto vivos quanto mortos. Assim, em um universo o gato está realmente morto; mas em outro ele está vivo. No entanto, ambos os universos residem na mesma casa: a função de onda do universo.

UM FILHO DA TEORIA DA MATRIZ S

Ironicamente, na década de 1960 a abordagem reducionista parecia um fracasso; a teoria quântica dos campos estava irremediavelmente crivada de divergências encontradas na expansão da perturbação. Com a física quântica em confusão, um ramo da física chamado teoria da matriz S (de *scattering matrix*, ou matriz de dispersão) rompeu com a corrente dominante e começou a germinar. Originalmente elaborado por Heisenberg, foi mais

desenvolvido por Geoffrey Chew, da Universidade da Califórnia, em Berkeley. A teoria da matriz S, diferentemente do reducionismo, tentava olhar para a dispersão das partículas como um todo inseparável, irredutível.

Em princípio, se conhecemos a matriz S, conhecemos tudo sobre as interações de partículas e o modo como elas se dispersam. Nessa abordagem, o modo como partículas colidem umas com as outras é tudo; a partícula individual não é nada. A teoria da matriz S dizia que a autocoerência da matriz de dispersão, e somente a autocoerência, era suficiente para determinar a matriz S. Assim, partículas fundamentais e campos foram banidos para sempre do éden da teoria da matriz S. Em última análise, somente a matriz S tinha algum significado físico.

Como uma analogia, digamos que nos dão uma máquina complexa, de aparência estranha, e nos pedem para explicar o que ela faz. O reducionista vai imediatamente pegar uma chave de fenda e desmontar a máquina. Fragmentando a máquina em milhares de minúsculos pedaços, o reducionista espera descobrir como funciona. No entanto, se a máquina for complicada demais, despedaçá-la só torna as coisas piores.

Os holistas, contudo, não querem despedaçar a máquina por várias razões. Primeiro, a análise de milhares de engrenagens e parafusos pode não nos dar o mais leve indício do que a máquina toda faz. Segundo, a tentativa de explicar como cada engrenagem funciona pode nos meter numa busca inútil. A maneira correta, eles pensam, é ver a máquina como um todo. Eles ligam a máquina e indagam como as partes se movem e interagem umas com as outras. Em linguagem moderna, a máquina é a matriz S, e essa filosofia tornou-se a teoria da matriz S.

Em 1971, no entanto, a maré virou radicalmente em favor dos reducionistas com a descoberta por Gerard ’t Hooft de que o campo de Yang-Mills pode fornecer uma teoria coerente das forças subatômicas. De repente, cada uma das interações de partículas veio abaixo como imensas árvores numa floresta. O campo de Yang-Mills apresentava uma misteriosa concordância com os dados experimentais obtidos nos aceleradores de partículas, levando ao estabelecimento do Modelo Padrão, enquanto a teoria da matriz S passou a se confundir numa matemática cada vez mais obscura. No fim da década de 1970, aquilo parecia uma vitória total, irreversível, do reducionismo sobre o holismo e a teoria da matriz S. Os reducionistas começaram a declarar vitória sobre o corpo prostrado dos holistas e da matriz S.

A maré, contudo, virou mais uma vez na década de 1980. Com o fracasso das GUTs para fornecer qualquer compreensão da gravitação ou quaisquer resultados experimentalmente verificáveis, os físicos começaram a buscar novas abordagens de pesquisa. Esse afastamento

das teorias GUTs começou com uma nova teoria, que devia sua existência à teoria da matriz S.

Em 1968, quando a teoria da matriz S estava no auge do seu sucesso, Veneziano e Suzuki foram profundamente influenciados pela filosofia da determinação da matriz S em sua inteireza. Eles encontraram a função beta de Euler porque estavam em busca de uma representação matemática para a matriz S inteira. Se tivessem recorrido aos diagramas reducionistas de Feynman, nunca teriam topado com uma das maiores descobertas feitas nas últimas décadas.

Vinte anos mais tarde, vemos o florescimento da semente plantada pela teoria da matriz S. A teoria Veneziano-Suzuki deu origem à teoria das cordas, que por sua vez foi reinterpretada via Kaluza-Klein como uma teoria de dez dimensões do universo.

Assim, vemos que a teoria de dez dimensões filia-se às duas tradições. Ela nasceu como uma filha da teoria da matriz S, holística, mas contém as teorias reducionistas de Yang-Mills e dos quarks. Em essência, ela amadureceu o suficiente para absorver ambas as filosofias.

DEZ DIMENSÕES E MATEMÁTICA

Uma das características intrigantes da teoria das supercordas é o nível a que a matemática é guindada. Nenhuma outra teoria conhecida na ciência usa uma matemática tão poderosa num nível tão fundamental. Em retrospecto, isso só podia ser assim, porque toda teoria unificada deve absorver a geometria riemanniana da teoria de Einstein e os grupos de Lie que vêm da teoria quântica de campo, e depois deve incorporar uma matemática ainda mais elevada para torná-los compatíveis. Essa nova matemática, que é responsável pela incorporação dessas duas teorias, é a *topologia*, e é responsável pela realização da tarefa aparentemente impossível de abolir as infinidades da teoria quântica da gravidade.

A introdução abrupta de matemática avançada na física por meio da teoria das cordas pegou muitos físicos desprevenidos. Mais de um físico foi secretamente até a biblioteca para checar imensos volumes de literatura matemática para compreender a teoria de dez dimensões. O físico do CERN, John Ellis, admite: "Vejo-me percorrendo as livrarias na tentativa de encontrar enciclopédias de matemática de modo que eu possa me embrenhar em todos esses conceitos matemáticos como homologia e homotopia e todo esse tipo de coisa que nunca me dei ao trabalho de aprender antes!"[6] Para aqueles que haviam temido uma cisão cada vez maior entre matemática e física neste século, este é por si mesmo um evento histórico recompensador.

Tradicionalmente, a matemática e a física foram inseparáveis desde os tempos dos gregos.

Newton e seus contemporâneos nunca fizeram uma distinção muito nítida entre matemática e física; eles se autodenominavam filósofos naturais e se sentiam em casa nos mundos fundamentalmente distintos da matemática, da física e da filosofia.

Gauss, Riemann e Poincaré consideravam que a física era de máxima importância como fonte de uma nova matemática. Ao longo dos séculos XVIII e XIX, houve uma ampla polinização cruzada entre a matemática e a física. Mas depois de Einstein e Poincaré, o desenvolvimento da matemática e da física separaram-se bruscamente. Nos últimos setenta anos, houve pouca, ou nenhuma, comunicação real entre matemáticos e físicos. Os matemáticos exploraram a topologia do espaço *N*-dimensional, desenvolvendo novas disciplinas como a topologia algébrica. Levando adiante o trabalho de Gauss, Riemann e Poincaré, matemáticos do último século desenvolveram um arsenal de teoremas e corolários abstratos que não têm nenhuma conexão com forças fraca ou forte. A física, contudo, começou a sondar o reino da força nuclear, usando a matemática tridimensional conhecida no século XIX.

Tudo isso mudou com a introdução da décima dimensão. De maneira bastante abrupta, o arsenal de matemáticas do século que passou está sendo incorporado no mundo da física. Teoremas extremamente poderosos em matemática, há muito cultivados somente por matemáticos, agora assumem significação física. Finalmente, tem-se a impressão de que o hiato divergente entre matemática e física será obliterado. De fato, até os matemáticos têm se assombrado com o fluxo de nova matemática que a teoria introduziu. Alguns eminentes matemáticos, como Isadore A. Singer, do MIT, declararam que talvez a teoria das supercordas devesse ser tratada como um ramo da matemática, independentemente de sua relevância física.

Ninguém tem a mais vaga ideia de por que a matemática e a física são tão interligadas. O físico Paul A. M. Dirac, um dos fundadores da teoria quântica, afirmou que "a matemática pode nos levar numa direção que não tomaríamos se seguíssemos apenas as ideias físicas por si mesmas".[7]

Alfred North Whitehead, um dos grandes matemáticos do século passado, disse uma vez que a matemática, no nível mais profundo, é inseparável da física no nível mais profundo. No entanto, a razão precisa dessa miraculosa convergência parece totalmente obscura. Ninguém tem nem sequer uma teoria razoável para explicar por que as duas disciplinas deveriam partilhar conceitos.

Frequentemente se diz que a "matemática é a linguagem da física". Por exemplo, Galileu disse certa vez: "Ninguém será capaz de ler o grande livro do Universo se não compreender sua língua, que é a matemática."[8] Mas isto evita a questão do porquê. Além do mais, os

matemáticos ficariam insultados em pensar que toda sua disciplina está sendo reduzida a mera semântica.

Einstein, notando essa relação, observou que a matemática pura poderia ser uma abordagem para a resolução dos mistérios da física. "É minha convicção que a construção matemática pura nos permite descobrir os conceitos e as leis que os conectam, o que nos dá a chave para a compreensão da natureza (...). Num certo sentido, portanto, considero verdadeiro que o puro pensamento pode apreender a realidade, como sonhavam os antigos."[9] Heisenberg fez eco a essa crença: "Se a natureza nos leva a formas matemáticas de grande simplicidade e beleza (...) que ninguém encontrou previamente, não podemos deixar de pensar que elas são 'verdadeiras', que revelam um traço genuíno da natureza."

O prêmio Nobel Eugen Wigner uma vez chegou a escrever um ensaio com o franco título de "A disparatada eficácia da matemática nas ciências naturais".

PRINCÍPIOS FÍSICOS *VERSUS* ESTRUTURAS LÓGICAS

Ao longo dos anos, observei que a matemática e a física obedeceram a uma certa relação dialética. A física não é uma mera sequência sem objetivo, aleatória, de diagramas de Feynman e simetrias, e a matemática não é um mero conjunto de equações embrulhadas, mas antes a física e a matemática obedecem a uma relação simbiótica definida.

A física, eu acredito, é essencialmente baseada num pequeno conjunto de *princípios físicos*. Esses princípios podem ser em geral expressos em linguagem comum sem referência à matemática. Da teoria de Copérnico às leis do movimento de Newton, e mesmo a relatividade de Einstein, os princípios físicos básicos podem ser expressos em apenas algumas frases, amplamente independentes de qualquer matemática. Um punhado de princípios físicos é suficiente para resumir a maior parte da física moderna.

A matemática, em contrapartida, é o conjunto de todas as estruturas coerentes possíveis, e há um número muito maior de estruturas lógicas que de princípios físicos. A marca registrada de qualquer sistema matemático (por exemplo, aritmética, álgebra ou geometria) é que seus axiomas e teoremas são coerentes uns com os outros. Os matemáticos estão preocupados sobretudo em que esses sistemas nunca resultem numa contradição, e estão menos interessados em discutir os méritos relativos de um sistema em relação ao outro. Toda estrutura coerente, de que existem muitas, é digna de estudo. Em consequência, os matemáticos são muito mais fragmentados que os físicos; matemáticos de uma área em geral trabalham isoladamente dos matemáticos de outras áreas.

A relação entre os físicos (fundamentados em princípios físicos) e matemáticos (fundamentados em estruturas coerentes) fica evidente agora: para resolver um princípio físico, os físicos podem necessitar de muitas estruturas coerentes. Assim, a física automaticamente une muitos ramos diversos da matemática. Sob essa luz, podemos compreender como as grandes ideias em física teórica evoluíram. Por exemplo, tanto matemáticos quanto físicos proclamam Isaac Newton como um dos gigantes de suas respectivas profissões. No entanto, Newton não começou o estudo da gravitação a partir da matemática. Analisando o movimento de corpos em queda, ele foi levado a acreditar que a Lua estava continuamente caindo em direção à Terra, mas nunca colidia com ela porque a Terra se curvava abaixo dela; a curvatura da Terra compensava a queda da Lua. Ele foi portanto levado a postular um princípio físico: a lei universal da gravitação.

No entanto, como não sabia como resolver as equações para a gravidade, Newton iniciou a empreitada de trinta anos de construir desde o princípio uma matemática suficientemente poderosa para calculá-las. No processo, descobriu muitas estruturas coerentes, que são coletivamente chamadas de *cálculo*. Desse ponto de vista, o princípio físico veio primeiro (lei da gravitação), e depois veio a construção de diversas estruturas coerentes necessárias para resolvê-la (como geometria analítica, equações diferenciais, derivadas e integrais). No processo, o princípio físico uniu essas diversas estruturas coerentes num corpo compatível de matemática (o cálculo).

A mesma relação se aplica à teoria da relatividade de Einstein. Ele começou com princípios físicos (como a constância da velocidade da luz e o princípio da equivalência para a gravitação) e depois, pesquisando a literatura matemática, encontrou as estruturas coerentes (grupos de Lie, cálculo do tensor de Riemann, geometria diferencial) que lhe permitiram resolver esses princípios. No processo, Einstein descobriu como ligar esses ramos da matemática num quadro coerente.

A teoria das cordas também revela esse padrão, mas de uma maneira surpreendentemente diferente. Por causa de sua complexidade matemática, a teoria das cordas ligou ramos vastamente diferentes da matemática (como superfícies de Riemann, álgebras de Kac-Moody, as álgebras de Lie, grupos finitos, funções modulares e topologia algébrica) de uma maneira que surpreendeu os matemáticos. Como outras teorias físicas, ela automaticamente evidencia a relação entre muitas diferentes estruturas coerentes. No entanto, o princípio físico subjacente à teoria das cordas é desconhecido. Os físicos têm a esperança de que, uma vez que o princípio seja revelado, novos ramos da matemática sejam descobertos. Em outras palavras, a razão por que a teoria das cordas não pode ser resolvida é que a matemática do século XXI ainda não

foi descoberta.

Uma consequência desta formulação é que um princípio físico que une muitas teorias físicas menores deve automaticamente ligar muitos ramos aparentemente não relacionados da matemática. É precisamente isso que a teoria das cordas realiza. De fato, de todas as teorias físicas, a teoria das cordas é a que une de longe o maior número de ramos da matemática num quadro único e coerente. Talvez um dos subprodutos da busca de unificação pelos físicos venha a ser a unificação igualmente da matemática.

É claro que o conjunto de estruturas matemáticas logicamente coerentes é muitas vezes maior que o conjunto dos princípios físicos. Portanto, algumas estruturas matemáticas, como a teoria dos números (que alguns matemáticos afirmam ser o ramo mais puro da matemática), nunca foram incorporadas em nenhuma teoria física. Alguns sustentam que essa situação pode existir sempre: talvez a mente humana vá ser sempre capaz de conceber estruturas logicamente coerentes que não podem ser expressas por nenhum princípio físico. No entanto, há indícios de que a teoria das cordas pode não tardar a incorporar também a teoria dos números em sua estrutura.

CIÊNCIA E RELIGIÃO

Como a teoria do hiperespaço criou novos e profundos vínculos entre a física e a matemática abstrata, algumas pessoas acusaram os cientistas de criar uma nova teologia baseada na matemática; isto é, rejeitamos a mitologia da religião apenas para adotar uma religião ainda mais estranha, baseada no espaço-tempo curvo, simetrias de partículas e expansões cósmicas. Enquanto os sacerdotes podem recitar fórmulas cabalísticas em latim que dificilmente alguém entende, os físicos cantam equações arcanas das supercordas que menos gente ainda entende. A "fé" num Deus todo-poderoso é agora substituída pela "fé" na teoria quântica e na relatividade geral. Quando cientistas protestam que nossas feitiçarias matemáticas podem ser verificadas em laboratório, a resposta é que a Criação não pode ser medida em laboratório, e portanto essas teorias abstratas como as supercordas jamais podem ser testadas.

Esse debate não é novo. Ao longo da história, cientistas foram muitas vezes convidados a debater as leis da natureza com teólogos. Por exemplo, o grande biólogo britânico Thomas Huxley foi o mais destacado defensor da teoria da seleção natural de Darwin contra as críticas da Igreja no fim do século XIX. De maneira semelhante, físicos quânticos compareceram a programas de rádio para debater com representantes da Igreja Católica se o Princípio de Incerteza de Heisenberg nega o livre-arbítrio, uma questão que pode determinar se as almas

vão para o céu ou para o inferno.

Mas os cientistas em geral relutam em se envolver em debates teológicos sobre Deus e a Criação. Um problema, eu descobri, é que "Deus" significa muitas coisas para muitas pessoas, e o uso de palavras carregadas, cheias de simbolismo oculto, só obscurece a questão. Para elucidar um pouco esse problema, descobri que é útil distinguir cuidadosamente entre dois tipos de significado da palavra *Deus*. Por vezes é útil diferenciar entre o Deus dos Milagres e o Deus da Ordem.

Quando os cientistas usam a palavra *Deus*, geralmente têm em mente o Deus da Ordem. Por exemplo, uma das mais importantes revelações na infância de Einstein ocorreu quando ele leu seus primeiros livros sobre ciência. Compreendeu imediatamente que a maior parte do que lhe havia sido ensinado sobre religião não podia ser verdade. Ao longo de sua carreira, no entanto, ele se apegou à crença de que existia no universo uma Ordem divina, misteriosa. A vocação de sua vida, dizia ele, era desvendar-lhe os pensamentos, determinar se ela possuía alguma escolha ao criar o universo. Einstein se referiu repetidamente a seu Deus em seus escritos, chamando-o afetuosamente de "o Velho". Quando topava com um problema matemático intratável, costumava dizer, "Deus é sutil, mas não malicioso". A maioria dos cientistas, é seguro dizer, acredita que há alguma forma de Ordem cósmica no universo. No entanto, para os não cientistas, a palavra Deus se refere quase universalmente ao Deus dos Milagres, e isso é fonte de comunicação equivocada entre cientistas e não cientistas. O Deus dos Milagres intervém em nossos problemas, opera milagres, destrói cidades malditas, esmaga exércitos inimigos, submerge as tropas do faraós e vinga os puros e os nobres.

Se cientistas e não cientistas não conseguem se comunicar sobre questões religiosas, é porque estão falando ao mesmo tempo, referindo-se a deuses inteiramente diferentes. Isso ocorre porque as fundações da ciência se firmam em eventos observáveis, reproduzíveis, mas os milagres, por definição, não são reproduzíveis. Acontecem somente uma vez na vida de uma pessoa, se tanto. Portanto, o Deus dos Milagres está, em certo sentido, acima do que conhecemos como ciência. Isso não quer dizer que milagres não possam acontecer, somente que eles estão fora do que é comumente chamado *ciência*.

O biólogo Edward O. Wilson, da Universidade de Harvard, ficou intrigado com essa questão e indagou se há alguma razão científica para que os seres humanos se aferrem tão intensamente à sua religião. Mesmo cientistas formados, ele verificou, que são em geral perfeitamente racionais com relação à sua especialização científica, recorrem a argumentos irracionais para defender sua religião. Ademais, observa ele, a religião foi usada historicamente como um pretexto para se encetar guerras hediondas e cometer atrocidades

indizíveis contra infiéis e pagãos. A crua ferocidade das guerras religiosas ou santas, de fato, concorre com o pior crime que qualquer ser humano jamais cometeu contra outro.

A religião, observa Wilson, é universalmente encontrada em todas as culturas humanas já estudadas na Terra. Os antropólogos descobriram que todas as tribos primitivas têm um mito de "origem" que explica de onde elas vieram. Além disso, essa mitologia distingue nitidamente entre "nós" e "eles", fornece uma força coesiva (e frequentemente irracional) que preserva a tribo e reprime as críticas ao líder.

Isso não é uma aberração, mas a norma da sociedade humana. A religião, teoriza Wilson, é demasiado dominante porque forneceu uma vantagem evolucionária definida para aqueles primeiros seres humanos que a adotaram. Wilson observa que animais que caçam em bandos obedecem ao líder porque uma hierarquia baseada na força e na dominação foi estabelecida. Mas cerca de um milhão de anos atrás, quando nossos ancestrais simiescos se tornaram gradualmente mais inteligentes, as pessoas puderam começar a questionar racionalmente o poder de seu líder. A inteligência, por sua própria natureza, questiona a autoridade pela razão, e portanto podia ser uma força perigosa e dissipadora na tribo. A menos que houvesse uma força para neutralizar esse caos cada vez mais amplo, as pessoas inteligentes iriam abandonar a tribo, a tribo se desagregaria, e todos os indivíduos acabariam morrendo. Assim, segundo Wilson, uma pressão de seleção foi exercida sobre os macacos inteligentes para inibir a razão e obedecer cegamente ao líder e a seus mitos, já que outro comportamento colocaria em risco a coesão da tribo. A sobrevivência favorecia o macaco inteligente, capaz de pensar racionalmente sobre ferramentas e coleta de alimentos, mas favorecia também aquele que pudesse inibir essa razão quando ela ameaçasse a integridade da tribo. Havia necessidade de uma mitologia para definir e preservar a tribo.

Segundo Wilson, para os símios que gradualmente se tornavam mais inteligentes, a religião foi uma força muito poderosa, preservadora da vida, constituindo uma "cola" que os mantinha unidos. Se correta, essa teoria explicaria por que tantas religões se apoiam mais na fé que no bom senso, e por que o rebanho é chamado a inibir a razão. Ajudaria também a explicar a ferocidade desumana das guerras religiosas e por que o Deus dos Milagres sempre pareceu estar ao lado do vitorioso numa guerra sangrenta. O Deus dos Milagres tem uma poderosa vantagem sobre o Deus da Ordem. Ele explica a mitologia de nosso propósito no universo; sobre essa questão, o Deus da Ordem silencia.

NOSSO PAPEL NA NATUREZA

Embora o Deus da Ordem não possa dar à humanidade um destino ou um propósito partilhados, o que pessoalmente acho mais assombroso nessa discussão é que nós seres humanos, que estamos apenas começando nossa ascensão na escala tecnológica, sejamos capazes de fazer afirmações de tamanha audácia sobre a origem e o destino do universo.

Tecnologicamente, estamos apenas começando a escapar da atração gravitacional da Terra; apenas começamos a enviar toscas sondas ao espaço exterior. No entanto, aprisionados em nosso pequeno planeta, contando apenas com nossas mentes e uns poucos instrumentos, fomos capazes de decifrar as leis que governam a matéria a bilhões de anos-luz de distância. Com recursos infinitesimalmente pequenos, sem nem mesmo deixar o sistema solar, fomos capazes de determinar o que acontece nas profundezas das fornalhas de uma estrela ou no interior do próprio núcleo.

Segundo a evolução, somos macacos inteligentes que mal acabamos de descer das árvores, vivendo no terceiro planeta de uma estrela menor, num braço espiral de uma galáxia menor, num grupo menor de galáxias próximo do superaglomerado de Virgo. Se a teoria da inflação está correta, todo nosso universo visível não passa de uma bolha infinitesimal num cosmo muito mais amplo. Mesmo nesse caso, dado o papel quase insignificante que desempenhamos no universo maior, parece espantoso que sejamos capazes de afirmar ter descoberto a teoria de tudo.

Certa vez perguntaram ao prêmio Nobel Isidor Rabi que evento inicial em sua vida o levara a encetar a longa jornada para descobrir os segredos da natureza. Ele respondeu que foi o exame de alguns livros sobre os planetas retirados da biblioteca. O que o fascinou foi que a mente humana seja capaz de conhecer tais verdades cósmicas. Os planetas e as estrelas são muito maiores que a Terra, portanto muito mais distantes que qualquer coisa já visitada pelos seres humanos, e no entanto a mente humana é capaz de entendê-los.

O físico Heinz Pagels descreveu sua experiência crucial quando, ainda criança, visitou o Hayden Planetarium de Nova York. Ele recordou:

> O drama e o poder do universo dinâmico me esmagaram. Aprendi que uma única galáxia pode conter mais estrelas do que todos os seres humanos que jamais viveram... A realidade da imensidão e duração do universo causou uma espécie de "choque existencial" que abalou os fundamentos do meu ser. Tudo que eu havia experimentado ou conhecido parecia insignificante situado naquele vasto oceano de existência.[10]

Em vez de ficar esmagado pelo universo, penso que talvez uma das mais profundas experiências que um cientista pode ter, quase se aproximando do despertar religioso, é se dar conta de que somos filhos das estrelas, e de que nossas mentes são capazes de compreender as leis universais a que elas obedecem. Os átomos dentro de nossos corpos foram forjados na

bigorna da nucleossíntese dentro de uma estrela em explosão eras antes do nascimento do sistema solar. Nossos átomos são mais velhos que as montanhas. Somos literalmente feitos de poeira de estrela. Agora esses átomos, por sua vez, fundiram-se em seres inteligentes capazes de compreender as leis universais que governam esse evento.

O que me parece fascinante é que as leis da física que descobrimos em nosso minúsculo e insignificante planeta sejam as mesmas leis descobertas não importa onde no universo, e no entanto essas leis foram descobertas sem que jamais tivéssemos deixado a Terra. Sem portentosas naves tripuladas ou janelas dimensionais, fomos capazes de determinar a natureza química das estrelas e de decodificar os processos nucleares que têm lugar nas profundezas de seu cerne.

Por fim, se a teoria de dez dimensões das supercordas está correta, uma civilização que medra na mais longínqua estrela vai descobrir precisamente a mesma verdade sobre nosso universo. Também ela vai cismar acerca da relação entre mármore e madeira, e chegar à conclusão de que o mundo tradicional de três dimensões é "pequeno demais" para acomodar as forças conhecidas em seu mundo.

Nossa curiosidade é parte da ordem natural. Talvez nós, como seres humanos, queiramos entender o universo exatamente como uma ave quer cantar. Como Johannes Kepler, o grande astrônomo do século XVII, disse uma vez, "Não perguntamos para que fim útil os pássaros cantam, pois a canção é seu prazer, já que foram criados para cantar. Da mesma maneira, não deveríamos perguntar por que a mente humana se dá ao trabalho de penetrar os segredos do céu". Ou, como o biólogo Thomas H. Huxley disse em 1863: "A questão de todas as questões para a humanidade, o problema que jaz sob todos os outros e é mais interessante que qualquer deles, é o da determinação do lugar do homem na Natureza e sua relação com o Cosmo."

O cosmólogo Stephen Hawking, que falou em resolver o problema da unificação ainda no século XX, escreveu eloquentemente sobre a necessidade de explicar para o público mais amplo possível o quadro físico essencial subjacente à física:

> Se de fato descobrirmos uma teoria completa, ela deve com o tempo ser compreensível em linhas gerais por toda gente, não apenas por um punhado de cientistas. Então seremos todos, filósofos, cientistas e simples pessoas comuns, capazes de tomar parte na discussão de por que o universo existe. Encontrar a resposta para isso seria o triunfo máximo da razão humana – pois então conheceríamos a mente de Deus.[11]

Numa escala cósmica, ainda estamos despertando para o mundo mais vasto à nossa volta. Contudo o poder mesmo de nosso intelecto limitado é tal que somos capazes de abstrair os mais profundos segredos da natureza.

Será que isso dá sentido ou propósito à vida?

Algumas pessoas buscam sentido na vida por meio do ganho pessoal, por relações pessoais ou mediante experiências pessoais. No entanto, a mim parece que ser abençoado com a capacidade de adivinhar os segredos últimos da natureza confere sentido suficiente à vida.

Notas

Prefácio

1. O assunto é tão novo que ainda não há um termo universalmente aceito a ser usado pelos físicos teóricos ao se referir a teorias multidimensionais. Tecnicamente falando, quando os físicos tratam da teoria, eles se referem a uma teoria específica, como a teoria de Kaluza-Klein, a supergravidade, ou as supercordas, embora *hiperespaço* seja o termo popularmente usado com referência a dimensões múltiplas, e *hiper* seja o prefixo científico correto para objetos geométricos multidimensionais. Aderi ao costume popular e usei a palavra hiperespaço para me referir a dimensões múltiplas.

1. Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (Nova York: Bantam, 1985), 324.
2. Peter Freund, entrevista ao autor, 1990.
3. Citado em Abraham Pais, *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford University Press, 1982), 235.
4. Essa distância incrivelmente pequena vai reaparecer continuamente ao longo de todo este livro. Ela é a escala fundamental de comprimento que tipifica qualquer teoria quântica da gravidade. A razão para isso é bastante simples. Em qualquer teoria da gravidade, a intensidade da força gravitacional é medida pela constante de Newton. No entanto, os físicos usam um conjunto simplificado de unidades em que a velocidade da luz *c* é definida como igual a um. Isso significa que 1 segundo é equivalente a 300.000 quilômetros. Além disso, a constante de Planck dividida por 2π é também definida como igual a um, o que estabelece uma relação numérica entre segundos e ergs de energia. Nessas estranhas mas convenientes unidades, tudo, inclusive a constante de Newton, pode ser reduzido a centímetros. Quando calculamos o comprimento associado à constante de Newton, temos precisamente o comprimento de Planck, ou 10^{-33} centímetros, ou 10^{19} bilhões de elétrons-volt. Assim todos os efeitos gravitacionais quânticos são medidos em termos dessa minúscula distância. Em particular, o tamanho dessas dimensões adicionais invisíveis é o comprimento de Planck.
5. Linda Dalrymple Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1983), XIX.

1. E. T. Bell, *Men of Mathematics* (Nova York: Simon and Schuster, 1937), 484.

2. Ibid., 487. Este incidente muito provavelmente despertou o precoce interesse de Riemann pela teoria dos números. Anos mais tarde, ele faria uma famosa especulação sobre certa fórmula que envolvia a função zeta na teoria dos números. Depois de cem anos de luta com a "hipótese de Riemann", os maiores matemáticos do mundo foram incapazes de propor qualquer prova. Nossos computadores mais avançados não puderam nos dar uma pista, e a hipótese de Riemann hoje já entrou para a história como um dos mais famosos teoremas não provados da teoria dos números, talvez de toda a matemática. Bell observa: "Quem quer que consiga prová-lo ou refutá-lo se cobrirá de glória" (ibid., 488).

3. John Wallis, *Der Barycentrische Calcul* (Leipzig, 1827), 184.

4. Embora se atribua a Riemann o mérito de ter sido a força criativa propulsora que finalmente estilhaçou os limites da geometria euclidiana, o homem que por direito deveria ter descoberto a geometria das dimensões adicionais era o mentor já idoso de Riemann, o próprio Gauss.

   Em 1817, quase uma década antes do nascimento de Riemann, Gauss expressou privadamente sua profunda frustração com a geometria euclidiana. Numa carta profética a seu amigo o astrônomo Heinrich Olbers, ele declarou claramente que a geometria euclidiana é matematicamente incompleta.

   Em 1869, o matemático James J. Sylvester registrou que Gauss havia considerado seriamente a possibilidade de espaços multidimensionais. Gauss imaginou as propriedades de seres, que chamou de "traças", que poderiam viver exclusivamente em folhas de papel bidimensionais. Em seguida generalizou esse conceito para incluir "seres capazes de figurar o espaço de quatro ou de um maior número de dimensões" (citado em Linda Dalrymple Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art* [Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1983], XIX).

   Mas se Gauss esteve quarenta anos à frente de qualquer outro na formulação da teoria de dimensões adicionais, por que ele perdeu essa oportunidade histórica de romper as cadeias da geometria euclidiana tridimensional? Historiadores observaram a tendência de Gauss a ser conservador em seu trabalho, na política e na vida pessoal. De fato, ele jamais deixou a Alemanha e passou quase toda a vida numa só cidade. Isso afetava também sua vida profissional.

   Numa carta reveladora escrita em 1829, Gauss confessou a seu amigo Friedrich Bessel

que jamais publicaria seu trabalho sobre geometria não euclidiana por medo da controvérsia que ele suscitaria entre os "beócios". O matemático Morris Kline escreveu: "[Gauss] disse numa carta a Bessel de 27 de janeiro de 1829 que provavelmente nunca publicaria seus achados sobre esse assunto porque temia o ridículo, ou, nas palavras dele, temia o clamor dos beócios, uma referência figurativa a uma tribo grega atoleimada" (*Mathematics and the Physical World* [Nova York: Crowell, 1959], 449). Gauss sentia-se tão intimidado pela velha guarda, os tacanhos "beócios" que acreditavam na natureza sagrada das três dimensões, que manteve secretos alguns de seus mais excelentes trabalhos.

Em 1869, numa entrevista com Sartorious von Waltershausen, biógrafo de Gauss, Sylvester escreveu que "esse grande homem costumava dizer que havia deixado de lado várias questões que tratara analiticamente, e esperava aplicar métodos geométricos a elas numa condição futura de existência, quando suas concepções de espaço tivessem se ampliado e expandido; pois assim como podemos conceber seres (como traças infinitamente adelgaçadas numa folha de papel infinitamente fina) que só possuem a noção do espaço de duas dimensões, assim também podemos imaginar seres capazes de figurar um espaço de quatro dimensões ou mais" (citado em Henderson, *Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*, 19).

Gauss escreveu a Olbers, "Cada vez mais me convenço de que a necessidade (física) de nossa geometria (euclidiana) não pode ser provada, pelo menos não pela razão humana ou para a razão humana. Talvez em uma outra vida sejamos capazes de penetrar a natureza do espaço, que agora é inatingível. Até lá, devemos situar a geometria não no mesmo plano da aritmética, que é puramente *a priori*, mas no da mecânica" (citado em Morris Kline, *Mathematical Thought from Ancient to Modern Times* [Nova York: Oxford University Press, 1972], 872).

De fato, Gauss suspeitava tanto da geometria euclidiana que chegou a conduzir um engenhoso experimento para testá-la. Ele e seus assistentes escalaram três picos de montanha: Rocken, Hohehagen e Inselsberg. De cada pico, os outros dois eram claramente visíveis. Traçando um triângulo entre os três picos, Gauss pôde medir experimentalmente os ângulos internos. Se a geometria euclidiana estivesse correta, o ângulo deveria somar 180 graus. Para seu desapontamento, constatou que a soma era exatamente 180 graus (mais ou menos 15 minutos). Seu grosseiro equipamento de mensuração não lhe permitiu mostrar conclusivamente que Euclides estava errado. (Hoje, compreendemos que esse experimento teria de ser realizado entre três diferentes sistemas estelares para detectar um desvio

suficientemente grande em relação ao resultado de Euclides.)

Deveríamos assinalar também que os matemáticos Nikolaus I. Lobachevski e János Bolyai descobriram independentemente a matemática não euclidiana definida em superfícies curvas. No entanto, sua construção estava limitada às dimensões inferiores habituais.

5. Citado em Bell, *Men of Mathematics*, 497.

6. O matemático inglês William Clifford, que traduziu o famoso discurso de Riemann para a *Nature* em 1873, ampliou muitas das ideias seminais de Riemann e foi talvez o primeiro a desenvolver a ideia de Riemann de que a curvatura do espaço é responsável pela força da eletricidade e do magnetismo, cristalizando assim a obra de Riemann. Clifford especulou que duas misteriosas descobertas na matemática (espaços com dimensões adicionais) e na física (eletricidade e magnetismo) são na verdade a mesma coisa, que a força da eletricidade e do magnetismo é causada pela curvatura do espaço com dimensões múltiplas.

Essa foi a primeira vez que alguém conjeturou que uma "força" nada mais é que a curvatura do próprio espaço, precedendo Einstein em cinquenta anos. A ideia de Clifford de que o eletromagnetismo era causado por vibrações na quarta dimensão também precedeu o trabalho de Theodr Kaluza, que iria igualmente tentar explicar o eletromagnetismo com uma dimensão adicional. Clifford e Riemann anteciparam assim as descobertas dos pioneiros do século XX, que mostraram que o significado de um espaço de dimensões múltiplas está em sua capacidade de fornecer uma descrição simples e elegante das forças. Pela primeira vez, alguém isolou corretamente o verdadeiro significado de dimensões adicionais, a saber, que uma teoria sobre *espaço* nos fornece na realidade uma descrição unificadora de *forças*.

Essas visões proféticas foram registradas pelo matemático James Sylvester, que escreveu em 1869: "O Sr. W. K. Clifford se permitiu algumas impressionantes especulações quanto à possibilidade de sermos capazes de inferir, a partir de certos fenômenos inexplicados de luz e magnetismo, o fato de nosso espaço plano de três dimensões estar no ato de sofrer, no espaço de quatro dimensões (...), uma distorção análoga ao amarrotamento de uma página" (citado em Henderson, *Fourth Dimension and Non-Euclidian Geometry in Modern Art*, 19).

Em 1870, num artigo com o intrigante título "On the Space-Theory of Matter", ele diz explicitamente que "a variação da curvatura do espaço é o que realmente acontece naquele

fenômeno que chamamos *movimento da matéria*, seja ela ponderável ou etérea" (William Clifford, "On the Space-Theory of Matter", *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 2 [1876]: 157-158).

7. Mais precisamente, em *N* dimensões o tensor métrico de Riemann $g_{\mu\nu}$ é uma matriz *N* X *N,* que determina a distância entre dois pontos, de tal modo que a distância infinitesimal entre dois pontos é dada por $ds^2 = \Sigma dx^\mu\, g_{\mu\nu}\, dx^\nu$. No limite do espaço plano, o tensor métrico de Riemann torna-se diagonal, isto é, $g_{\mu\nu} = d_{\mu\nu}$ e portanto o formalismo se reduz de novo ao teorema de Pitágoras em *N* dimensões. O desvio do tensor métrico em relação a $\delta_{\mu\nu}$, grosseiramente falando, mede o desvio do espaço em relação ao espaço plano. A partir do tensor métrico, podemos construir o tensor de curvatura de Riemann, representado por $R^\beta{}_{\mu\nu\alpha}$.

   A curvatura do espaço em qualquer ponto dado pode ser medida traçando-se um círculo nesse ponto e medindo-se a área no interior desse círculo. No espaço bidimensional plano, a área no interior do círculo é πr^2. No entanto, se a curvatura for positiva, como numa esfera, a área é menor que πr^2. Se a curvatura for negativa, como numa sela ou trombeta, a área é maior que πr^2.

   Estritamente falando, por esta convenção, a curvatura de uma folha de papel amassada é zero. Isto ocorre porque as áreas de círculos traçados nessa folha amassada continuam iguais a πr^2. No exemplo de Riemann de força criada pelo amassamento de uma folha de papel, supomos implicitamente que o papel está distorcido e tanto esticado quanto dobrado, de modo que a curvatura é não-zero.

8. Citado em Bell, *Men of Mthematics*, 501.

9. Ibid., 14.

10. Ibid.

11. Em 1917, o físico Paul Ehrenfest, um amigo de Einstein, escreveu um artigo intitulado "In What Way Does It Become Manifest in the Fundamental Laws of Physics that Space has Three Dimensions?" Ehrenfest perguntou a si mesmo se estrelas e planetas são possíveis em dimensões múltiplas. Por exemplo, a luz de uma vela se obscurece à medida que nos afastamos dela. Da mesma maneira, a atração gravitacional de uma estrela se enfraquece quando nos afastamos. Segundo Newton, a gravidade fica mais fraca segundo a lei do inverso do quadrado. Se duplicarmos a distância que nos separa de uma vela ou de uma estrela, a luz ou a atração gravitacional ficam quatro vezes mais fracas. Se triplicarmos a distância, ficam nove vezes mais fracas.

Se o espaço fosse quadridimensional, a luz da vela ou a gravidade se enfraqueceriam muito mais rapidamente, como o inverso do cubo. Se a distância que nos separa de uma vela ou estrela fosse dobrada, a luz da vela ou a gravidade se enfraqueceriam por um fator de oito.

Podem sistemas solares existir num mundo quadridimensional como esse? Em princípio sim, mas as órbitas dos planetas já não seriam estáveis. A mais ligeira vibração as demoliria. Ao longo do tempo, todos os planetas sairiam oscilando de suas órbitas usuais e mergulhariam no Sol.

Da mesma maneira, o Sol não teria condições de existir em dimensões múltiplas. A força da gravidade tende a esmagar o Sol. Ela se iguala à força de fusão, que tende a explodir o Sol. O Sol é portanto um delicado ato de equilíbrio entre forças nucleares que o fariam explodir e forças gravitacionais que o reduziriam a um ponto. Num universo multidimensional, esse delicado equilíbrio seria rompido, e as estrelas poderiam sucumbir espontaneamente.

12. Henderson, *Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*, 22.
13. Zollner havia se convertido ao espiritualismo em 1875 quando visitou o laboratório de Crookes, o descobridor do elemento tálio, inventor do tubo de raios catódicos e editor do douto *Quarterly Journal of Science*. O tubo de raios catódicos de Crookes revolucionou a ciência; quem quer que assista à televisão, use um monitor de computador, jogue um videogame, ou já tenha sido submetido a raios X tem uma dívida para com a famosa invenção de Crookes.

    Crookes, por sua vez, não era nenhum excêntrico. Na verdade, era uma figura eminente da sociedade científica britânica, com uma parede cheia de honrarias profissionais. Foi feito cavaleiro em 1897 e recebeu a Ordem do Mérito em 1910. Seu profundo interesse pelo espiritualismo foi desencadeado pela trágica morte de seu irmão Philip, vitimado pela febre amarela em 1867. Ele se tornou um membro destacado (e mais tarde presidente) da Society for Psychical Research, que incluiu um número espantoso de cientistas importantes no final do século XIX.
14. Citado em Rudy Rucker, *The Fourth Dimension* (Boston: Houghton Mifflin, 1984), 54.
15. Para fazer ideia de como nós podem ser desatados em mais de três dimensões, imagine dois anéis entrelaçados. Agora tome um corte transversal bidimensional dessa configuração, de tal modo que um anel permaneça nesse plano enquanto o outro se torna um ponto (porque se situa perpendicularmente ao plano). Temos agora um ponto dentro de

um círculo. Em dimensões múltiplas, temos a liberdade de mover esse ponto completamente para fora do círculo sem cortar nenhum dos anéis. Isso significa que agora os dois anéis estão completamente separados, como se desejava. Significa que nós em mais de três dimensões podem sempre ser desatados porque há “espaço suficiente”. Mas observe também que, estando num espaço tridimensional, não podemos remover o ponto do anel, e essa é a razão por que os nós só permanecem atados na terceira dimensão.

1. A. T. Schofield escreveu, “Concluímos, portanto, que um mundo mais elevado que o nosso pode ser considerado não só possível, mas provável; em segundo lugar que tal mundo pode ser considerado um mundo de quatro dimensões; e em terceiro que o mundo espiritual está em profunda concordância em suas leis misteriosas... com o que seriam por analogia as leis, a língua e as exigências de uma quarta dimensão” (citado em Rudy Rucker, *The Fourth Dimension* [Boston: Houghton Mifflin, 1984], 56).
2. Arthur Willink escreveu, “Uma vez que reconheçamos a existência do Espaço de Quatro Dimensões, nenhum esforço maior é exigido pelo reconhecimento da existência de um Espaço de Cinco Dimensões, e assim por diante, até um Espaço de um número infinito de Dimensões” (citado em ibid., 200).
3. H. G. Wells, *The Time Machine: An Invention* (Londres: Heinemann, 1985), 3.
4. Linda Dalrymple Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1983), XXI.
5. Ibid. Segundo Henderson, “A quarta dimensão chamou a atenção de figuras literárias do porte de H. G. Wells, Oscar Wilde, Joseph Conrad, Ford Madox Ford, Marcel Proust e Gertrude Stein. Entre os músicos, Alexander Scriabin, Edgar Varèse e George Antheil estiveram ativamente envolvidos com a quarta dimensão, e foram encorajados a fazer audaciosas inovações em nome de uma realidade mais elevada” (ibid., XIX-XX).
6. *Materialismo e empiriocriticismo*, de Lênin, é importante hoje porque afetou profundamente a ciência moderna na União Soviética e na Europa oriental. A célebre expressão de Lênin “a inexauribilidade do elétron” significava a ideia dialética de que encontramos subcamadas e contradições sempre que tentamos penetrar profundamente o coração da matéria. Por exemplo, as galáxias são compostas por sistemas estelares menores, que por sua vez contêm planetas, os quais são compostos de moléculas, as quais são feitas de átomos, os quais contêm elétrons, que, por sua vez, são “inexauríveis”. Esta é uma variação da teoria dos “mundos dentro de mundos”.
7. Vladimir Lênin, *Materialism and Empiro-Criticism*, em Karl Marx, Friedrich Engels e Vladimir Lênin, *On Dialectical Materialism* (Moscou: Progress, 1977), 305-306.
8. Ibid.
9. Citado em Rucker, *Fourth Dimension*, 64.
10. Imagine um chatalandês montando uma série de seis quadrados adjacentes na forma de uma

cruz. Para ele, os quadrados são rígidos. Não podem ser torcidos ou girados ao longo de nenhum dos lados que os conectam. Agora imagine, contudo, que agarramos a série de quadrados e decidimos dobrá-los, formando um cubo. As junções entre os quadrados, que eram rígidas em duas dimensões, podem ser facilmente dobradas em três dimensões. De fato, a operação de montagem pode ser executada tranquilamente, sem que um chatalandês sequer perceba que ela está ocorrendo.

Se, porém, houvesse um chatalandês dentro do cubo, ele iria perceber uma coisa surpreendente. Cada quadrado leva a um outro. Não há "lado de fora" do cubo. Cada vez que um chatalandês se move de um quadrado para o seguinte, ele se curva suavemente (sem que o perceba) 90 graus na terceira dimensão e entra no quadrado seguinte. Do lado de fora, a casa é apenas um quadrado comum. No entanto, alguém que entrasse nela encontraria uma estranha sequência de quadrados, cada um levando impossivelmente ao próximo. Para ele, pareceria impossível que o interior de um único quadrado pudesse abrigar uma série de seis quadrados.

1. Jacob Bronowski, *The Ascent of Man* (Boston: Little, Brown, 1974), 247.

2. Citado em Abraham Pais, *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford University Press, 1982), 131.

3. Normalmente, é absurdo pensar que duas pessoas podem ser ambas mais altas uma que a outra. No entanto, nesta situação temos duas pessoas, cada uma pensando corretamente que a outra foi comprimida. Isso não é uma verdadeira contradição porque é preciso tempo para fazer uma medição, e o tempo, assim como o espaço, foi distorcido. Em particular, eventos que parecem simultâneos em um sistema de referência não são simultâneos quando vistos em outro.

   Por exemplo, digamos que as pessoas na plataforma peguem uma régua e, enquanto o trem passa, deixem-na cair sobre a plataforma. Enquanto o trem passa, elas deixam cair as duas pontas da régua de modo que estas atingem a plataforma simultaneamente. Desse modo, elas podem provar que o comprimento todo do trem comprimido, da frente até o fundo, é de apenas trinta centímetros.

   Agora considere o mesmo processo de medição do ponto de vista dos passageiros do trem. Eles pensam que estão em repouso e veem a estação de metrô comprimida vir em sua direção, com pessoas comprimidas prestes a deixar cair uma régua comprimida sobre a plataforma. De início parece impossível que uma régua tão minúscula seja capaz de medir todo o comprimento do trem. No entanto, quando a régua cai, suas extremidades *não* atingem o solo simultaneamente. Uma ponta da régua chega ao chão exatamente quando a estação passa pela ponta dianteira do trem. Somente quando a estação se moveu completamente pelo comprimento de todo o trem é que a segunda extremidade da régua finalmente atinge o solo. Dessa maneira, a mesma régua mediu todo o comprimento do trem nos dois sistemas.

   A essência deste e de muitos outros "paradoxos" que aparecem na teoria da relatividade é que o processo de medição demanda tempo, e que tanto o espaço quanto o tempo se tornam distorcidos de diferentes maneiras em diferentes sistemas.

4. As equações de Maxwell têm a seguinte aparência (estabelecemos que $c = 1$):

$$\nabla \cdot E = \rho$$
$$\nabla \times B - \partial E/\partial t = j$$
$$\nabla \cdot B = 0$$
$$\nabla \times E + \partial B/\partial t = 0$$

A segunda e a última linhas são na verdade equações vetoriais que representam três equações cada uma. Portanto, há oito equações nas equações de Maxwell.

Podemos reescrever essas equações relativisticamente. Se introduzirmos o tensor de Maxwell $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$, essas equações se reduzem a uma equação:

$$\partial_\mu F^{\mu\nu} = j^\nu$$

que é a versão relativística das equações de Maxwell.

5. Citado em Pais, *Subtle Is the Lord*, 239.

6. Ibid., 179.

7. As equações de Einstein têm a seguinte aparência:

$$R_{\mu\nu} - 1/2\, g_{\mu\nu} R = -8\pi/c^2\, G T_{\mu\nu}$$

em que $T_{\mu\nu}$ é um tensor de energia-*momentum* que mede o conteúdo de matéria-energia, ao passo que $R_{\mu\nu}$ é o tensor de curvatura de Riemann contraído. Esta equação diz que o tensor de energia-*momentum* determina a quantidade de curvatura presente no hiperespaço.

8. Citado em Pais, *Subtle Is the Lord*, 212.

9. Citado em K. C. Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life* (Nova York: Bantam, 1985), 29.

10. Uma hiperesfera pode ser definida de modo muito parecido como um círculo ou uma esfera. Um círculo é definido como o conjunto de pontos que satisfazem a equação $x^2 + y^2 = r^2$ no plano x-y. Uma esfera é definida como o conjunto de pontos que satisfazem $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$ no espaço x-y-z. Uma hiperesfera quadridimensional é definida como o conjunto de pontos que satisfazem $x^2 + y^2 + z^2 + u^2 = r^2$ no espaço x-y-z-u. Este procedimento pode ser facilmente estendido ao espaço N-dimensional.

11. Citado em Abdus Salam, "Overview of Particle Physics", em *The New Physics*, org. Paul Davies (Cambridge: Cambridge University Press, 1989), 487.

12. Theodr Kaluza, "Zum Unitätsproblem der Physik", *Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften* 96 (1921): 69.

13. Em 1914, antes mesmo que Einstein propusesse sua teoria da relatividade geral, o físico Gunnar Nordstrom tentou unificar o eletromagnetismo com a gravidade pela introdução de uma teoria de Maxwell pentadimensional. Examinando sua teoria, verificamos que ela

contém corretamente a teoria da luz de Maxwell em quatro dimensões, mas é uma teoria escalar da gravidade, o que é sabidamente incorreto. Como consequência, as ideias de Nordstrom ficaram em grande parte esquecidas. Em certo sentido, ele publicou cedo demais. Seu artigo foi escrito um ano antes da publicação da teoria da gravidade de Einstein, e assim lhe foi impossível formular uma teoria pentadimensional da gravidade de tipo einsteiniano.

A teoria de Kaluza, em contraste com a de Nordstrom, começou com um tensor métrico $g_{\mu\nu}$ definido em espaço pentadimensional. Em seguida Kaluza identificou $g_{\mu 5}$ com o tensor de Maxwell A_{μ}. A velha métrica quadridimensional de Einstein foi então identificada pela nova métrica de Kaluza somente se μ e ν não fossem iguais a 5. Desta maneira simples e elegante, tanto o campo de Einstein quanto o campo de Maxwell foram introduzidos no tensor pentadimensional de Kaluza.

Ao que parece, também Heinrich Mandel e Gustav Mie propuseram teorias pentadimensionais. Assim, o fato de dimensões mais elevadas serem um aspecto tão dominante da cultura popular provavelmente favoreceu a polinização por cruzamento do mundo da física. Neste sentido, o trabalho de Riemann estava sendo reiniciado, após uma série de eventos e experiências.

14. Peter Freund, entrevista com o autor, 1990.
15. Ibid.

1. Citado em K. C. Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life* (Nova York: Bantam, 1985), 204.
2. Citado em Nigel Calder, *The Key to the Universe* (Nova York: Penguin, 1977), 69.
3. Citado em R. P. Crease e C. C. Mann, *The Second Creation* (Nova York: Macmillan, 1986), 326.
4. Ibid., p. 293.
5. William Blake, "Tyger! Tyger! burning bright", de "Songs of Experience", in *The Poems of William Blake*, org. W. B. Yeats (Londres: Routledge, 1905).
6. Citado em Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (Nova York: Bantam, 1985), 177.
7. Citado in Cole, *Sympathetic Vibrations*, 229.
8. Citado em John Gribben, *In Search of Schrödinger's Cat* (Nova York: Bantam, 1984), 79.

1. Citado em R. P. Crease e C. C. Mann, *The Second Creation* (Nova York: Macmillan, 1986), 411.
2. Citado em Nigel Calder, *The Key to the Universe* (Nova York: Penguin, 1977), 15.
3. Citado em Crease e Mann, *Second Creation*, 418.
4. Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (Nova York: Bantam, 1985), 327.
5. Citado em Crease e Mann, *Second Creation*, 417.
6. Peter van Nieuwenhuizen, "Supergravity" em *Supersymmetry and Supergravitiy*, org. M. Jacob (Amsterdam: North Holland, 1986), 794.
7. Citado em Crease e Mann, *Second Creation*, 419.

1. Citado em K. C. Cole, “A Theory of Everything”, *New York Times Magazine*, 18 de outubro de 1987, 20.

2. John Horgan, “The Pied Piper of Superstrings”, *Scientific American*, novembro de 1991, 42, 44.

3. Citado em Cole. “Theory of Everything”, 25.

4. Edward Witten, Entrevista, em *Superstrings: A Theory of Everything?,* org. Paul Davies e J. Brown (Cambridge: Cambridge University Press, 1988), 90-91.

5. David Gross, Entrevista, em *Superstrings*, org. Davies e Brown, 150.

6. Witten, Entrevista, em *Superstrings*, org. Davies and Brown, 95.

   Witten enfatiza que Einstein foi levado a postular a teoria geral da relatividade a partir de um princípio físico, o princípio de equivalência (segundo o qual a massa gravitacional e a massa inercial de um objeto são a mesma, de modo que todos os corpos, não importa o tamanho que tenham, caem na Terra na mesma taxa). No entanto, a contrapartida do princípio de equivalência para a teoria das cordas ainda não foi encontrada.

   Como Witten assinala: “Ficou claro que a teoria das cordas fornece, de fato, uma estrutura logicamente coerente, que abrange tanto a gravidade quanto a mecânica quântica. Ao mesmo tempo, a estrutura conceitual em que isso deveria ser propriamente compreendido, análoga ao princípio de equivalência que Einstein encontrou em sua teoria da gravidade, ainda está por emergir” (ibid., 97).

   É por isso que, no momento, Witten está formulando as chamadas *teorias topológicas de campo* – isto é, teorias que são totalmente independentes do modo como medimos distâncias. A esperança é que essas teorias topológicas de campo possam corresponder a alguma “fase não quebrada da teoria das cordas” – isto é, teoria das cordas além do comprimento de Planck.

7. Gross, Entrevista, em *Superstrings*, org. Davies e Brown, 150.

8. Horgan, “Pied Piper of Superstrings”, 42.

9. Examinemos a compactação em termos da corda heterótica completa, que tem dois tipos de vibrações: uma vibração no pleno espaço de 26 dimensões e as outras no espaço usual de dez dimensões. Como 26 – 10 = 16, supomos agora que 16 das 26 dimensões se enroscaram – isto é, se compactaram “em alguma cópia” – deixando-nos com uma teoria de dez dimensões. Qualquer pessoa que caminhe ao longo de alguma dessas 16 direções

vai se enrolar precisamente no mesmo ponto.

Foi Peter Freund que sugeriu que o grupo de simetria desse espaço compactado de 16 dimensões era o grupo E(8) x E(8). Uma verificação rápida mostra que essa simetria é imensamente maior e inclui o grupo de simetria do Modelo Padrão, dado por SU(3) x SU(2) x U(1).

Em síntese, a relação-chave é 26 - 10 = 16, o que significa que se compactamos 16 das 26 dimensões originais da corda heterótica, ficamos com um espaço compacto de 16 dimensões com um restante de simetria chamada E(8) x E(8). No entanto, na teoria Kaluza-Klein, quando uma partícula é forçada a viver num espaço compactado, ela precisa necessariamente herdar a simetria desse espaço. Isto significa que as vibrações da corda devem se rearranjar segundo o grupo de simetria E(8) x E(8).

Em consequência, podemos concluir que a teoria de grupo nos revela que esse grupo é muito maior que o grupo de simetria que aparece no Modelo Padrão, sendo portanto capaz de incluir o Modelo Padrão como um pequeno subconjunto da teoria de dez dimensões.

10. Embora a teoria da supergravidade seja definida em 11 dimensões, a teoria ainda é pequena demais para acomodar todas as interações de partículas. O maior grupo de simetria para a supergravidade é O(8), o que é demasiado pequeno para acomodar as simetrias do Modelo Padrão.

    De início, parece que a supergravidade de 11 dimensões tem mais dimensões, portanto mais simetria, que a supercorda de dez dimensões. Isso é uma ilusão porque a corda heterótica começa compactando um espaço de 26 dimensões num de dez dimensões, deixando-nos com 16 dimensões compactadas que fornecem o grupo E(8) x E(8). Isto é mais do que suficiente para acomodar o Modelo Padrão.

11. Witten, Entrevista, em *Superstrings*, org. Davies e Brown, 102.

12. Observe que outras abordagens alternativas não perturbativas à teoria das cordas foram propostas, mas não são tão avançadas quanto a teoria de campo das cordas. A mais ambiciosa é “espaço de módulos universais”, que tenta analisar as propriedades das superfícies das cordas com um número infinito de buracos nelas. (Lamentavelmente, ninguém sabe como calcular com esse tipo de superfície.) Outra é o método de grupo de renormalização, que até agora consegue reproduzir unicamente superfícies sem nenhum buraco (diagramas de árvore). Há também os modelos-matriz, que, até agora, podem ser definidos em apenas duas dimensões ou menos.

13. Para compreender este misterioso fator de dois, considere um feixe de luz que tenha dois

modos físicos de vibração. A luz polarizada pode vibrar, digamos, seja horizontalmente, seja verticalmente. No entanto, um campo relativístico de Maxwell A_μ tem quatro componentes, onde $\mu = 1,2,3,4$. Estamos autorizados a subtrair dois desses quatro componentes usando a simetria *gauge* das equações de Maxwell. Como 4 - 2 = 2, os quatro campos originais de Maxwell ficaram reduzidos a dois. Da mesma maneira, uma corda relativística vibra em 26 dimensões. No entanto, dois desses modos vibratórios podem ser removidos quando quebramos a simetria da corda, deixando-nos com 24 modos vibratórios, que são aqueles que aparecem na função de Ramanujan.

14. Citado em Godfrey H. Hardy, *Ramanujan* (Cambridge: Cambridge University Press, 1940), 3.
15. Citado em James Newman, *The World of Mathematics* (Redmond, Washington, D.C.: Tempus Books, 1988), 1: 363.
16. Hardy, *Ramanujan*, 9.
17. Ibid., 10.
18. Ibid., 11.
19. Ibid., 12.
20. Jonathan Borwein e Peter Borwein, “Ramanujan and Pi”, *Scientific American*, fevereiro de 1988, 112.

1. David Gross, Entrevista, em *Superstrings: A Theory of Everything?,* org. Paul Davies e J. Brown (Cambridge: Cambridge University Press, 1988), 147.
2. Sheldon Glashow, *Interactions* (Nova York: Warner, 1988), 335.
3. Ibid., 333.
4. Ibid., 330.
5. Steven Weinberg, *Dreams of a Final Theory* (Nova York: Pantheon, 1992), 218-219.
6. Citado em John D. Barrow e Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (Oxford: Oxford University Press, 1986), 327.
7. Citado em F. Wilczek e B. Devine, *Longing for the Harmonies* (Nova York: Norton, 1988), 65.
8. John Updike, "Cosmic Gall" em *Telephone Poles and Other Poems* (Nova York: Knopf, 1960).
9. Citado em K. C. Cole, "A Theory of Everything", *New York Times Magazine*, 18 de outubro de 1987, 28.
10. Citado em Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (Nova York: Bantam, 1985), 11.
11. Citado em K. C. Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life* (Nova York: Bantam, 1985), 225.

1. Citado em E. Harrison, *Masks of the Universe* (Nova York: Macmillan, 1985), 211.
2. Citado em Corey S. Powell, "The Golden Age of Cosmology", *Scientific American*, julho de 1992, 17.
3. A teoria do *orbifold* é na verdade a criação de várias pessoas, entre os quais L. Dixon, J. Harvey e Edward Witten de Princeton.
4. Anos atrás, matemáticos fizeram uma simples pergunta: dada uma superfície curva num espaço *N*-dimensional, quantos tipos de vibrações podem existir nela? Por exemplo, pense em derramar areia sobre um tambor. Quando o tambor é vibrado numa certa frequência, as partículas de areia dançam na sua superfície e formam belos padrões simétricos. Diferentes padrões de partículas de areia correspondem a diferentes frequências permitidas na superfície do tambor. De maneira similar, os matemáticos calcularam o número e o tipo de vibrações ressonantes permitidas numa superfície *N*-dimensional curva. Chegaram até a calcular o número e o tipo de vibrações que um elétron poderia ter em tal superfície hipotética. Para os matemáticos, esse foi um delicioso exercício intelectual. Ninguém considerava que ele tinha possibilidade de ter qualquer consequência física. Afinal, pensavam eles, elétrons não vibram em superfícies *N*-dimensionais.

   Esse grande corpo de teoremas matemáticos pode agora ser aplicado ao problema das famílias GUT. Cada família GUT, se a teoria das cordas estiver correta, deve ser um reflexo de alguma vibração num *orbifold*. Como os vários tipos de vibração foram catalogados pelos matemáticos, tudo que os físicos precisam fazer é consultar um livro de matemática que lhes diga quantas famílias idênticas existem! Assim, a origem do problema de família é a *topologia*. Se a teoria das cordas estiver correta, a origem dessas famílias em duplicata de partículas GUT não pode ser compreendida a menos que ampliemos nossa consciência a dez dimensões.

   Uma vez que enroscamos as dimensões indesejadas numa minúscula bolinha, podemos comparar a teoria com os dados experimentais. Por exemplo, a menor excitação da corda corresponde a uma corda fechada com um raio muito pequeno. As partículas que ocorrem na vibração de uma pequena corda fechada são precisamente aquelas encontradas na supergravidade. Assim recuperamos todos os bons resultados da supergravidade, sem os maus resultados. O grupo de simetria dessa nova supergravidade é E(8) x E(8), o que é muito maior que a simetria do Modelo Padrão e até que a da teoria GUT. Portanto, a supercorda contém tanto a GUT quanto a teoria da supergravidade (sem muitas das

características negativas de ambas as teorias). Em vez de surrar suas concorrentes, a teoria das supercordas simplesmente as incorpora.

O problema com esses *orbifolds*, contudo, é que podemos construir centenas de milhares deles. Sofremos pela abundância! Cada um deles, em princípio, descreve um universo coerente. Como podemos saber qual universo é correto? Entre esses milhares de soluções, descobrimos muitas que preveem exatamente três gerações de famílias de quarks e léptons. Podemos prever também milhares de soluções nos casos em que há muito mais de três gerações. Assim, enquanto a GUT considera três gerações um excesso, muitas soluções da teoria das cordas consideram três gerações pouco demais!

5. David Gross, Entrevista, em *Superstrings: A Theory of Everything?*, org. Paul Davies e J. Brown (Cambridge: Cambridge University Press, 1988), 142-243.

6. Ibid.

1. Mais precisamente, o princípio de exclusão de Pauli declara que dois elétrons, sejam eles quais forem, não podem ocupar o mesmo estado quântico com os mesmos números quânticos. Isto significa que uma anã branca pode ser abordada como um mar de Fermi, ou um gás de elétrons obedecendo ao princípio de Pauli.

   Como elétrons não podem estar no mesmo estado quântico, uma força repulsiva líquida impede que sejam comprimidos até um ponto. Numa anã branca, é essa força repulsiva que, em última análise, se contrapõe à força gravitacional.

   A mesma lógica se aplica aos nêutrons numa estrela de nêutrons, uma vez que os nêutrons também obedecem ao princípio de exclusão de Pauli, embora o cálculo seja mais complicado por causa de outros efeitos nucleares e relativísticos.

2. John Michell, em *Philosophical Transactions of the Royal Society* 74 (1784): 35.

3. Citado em Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (Nova York: Bantam, 1985), 57.

1. K. Gödel, “An Example of a New Type of Cosmological Solution of Einstein’s Field Equations of Gravitation”, *Reviews of Modern Physics* 21 (1949): 447.

2. F. Tipler, “Causality Violation in Asymptotically Flat Space-Times”, *Physical Review Letters* 37 (1976): 979.

3. M. S. Morris, K. S. Thorne e U. Yurtsever, “Wormholes, Time Machines, and the Weak Energy Condition”, *Physical Review Letters* 61 (1988): 1446.

4. M. S. Morris e K. S. Thorne, “Wormholes in Spacetime and Their Use for Interstellar Travel: A Tool for Teaching General Relativity”, *American Journal of Physics* 56 (1988), 411.

5. Fernando Echeverria, Gunnar Klinkhammer e Kip S. Thorne, “Billiard Balls in Wormhole Spacetimes with Closed Timelike Curves: Classical Theory”, *Physical Review D* 44 (1991): 1079.

6. Morris, Thorne, and Yurtsever, “Wormholes”, 1447.

1. Steven Weinberg, "The Cosmological Constant Problem", *Reviews of Modern Physics* 61 (1989): 6.
2. Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (Nova York: Bantam, 1985), 377.
3. Ibid., 378.
4. Citado em Alan Lightman e Roberta Brawer, *Origins: The Lives and Worlds of Modern Cosmologists* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1990), 479.
5. Richard Feynman, Entrevista em *Superstrings: A Theory of Everything?*, org. Paul Davies e J. Brown (Cambridge, Cambridge University Press, 1988), 196.
6. Weinberg, "Cosmological Constant Problem", 7.
7. Citado em K. C. Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life* (Nova York: Bantam, 1985), 204.
8. Citado em John Gribben, *In Search of Schrödinger's Cat* (Nova York: Bantam, 1984), vi.
9. Citado em Heinz Pagels, *The Cosmic Code* (Nova York: Bantam, 1982), 113.
10. Citado em E. Harrison, *Masks of the Universe* (Nova York: Macmillan, 1985), 246.
11. F. Wilczek e B. Devine, *Longing for the Harmonies* (Nova York: Norton, 1988), 129.
12. Pagels, *Cosmic Code*, 155.
13. Citado em David Freedman, "Parallel Universes: The New Reality – From Harvard's Wildest Physicist", *Discover Magazine*, julho de 1990, 52.
14. Ibid., 48.
15. Ibid., 49.
16. Ibid., 51.
17. Ibid., 48.

1. Paul Davies, *Superforce: The Search for a Grand Unified Theory of Nature* (Nova York: Simon and Schuster, 1984), 168.
2. Freeman Dyson, *Disturbing the Universe* (Nova York: Harper & Row, 1979), 76.
3. Freeman Dyson, *Infinite in All Directions* (Nova York: Harper & Row, 1988), 196-197.
4. Dyson, *Disturbing the Universe*, 212.
5. Carl Sagan, *Cosmos* (Nova York: Random House, 1980), 306-307.
6. De fato, eras atrás a autodestruição era até mais fácil. Para fazer uma bomba atômica, o problema fundamental que qualquer espécie enfrenta é separar urânio 235 de seu abundante gêmeo, urânio 238, que não é capaz de sustentar uma reação em cadeia. Mas o urânio 235 é somente 0,3% do urânio que ocorre naturalmente. Para sustentar uma reação em cadeia descontrolada, é preciso um nível de enriquecimento de pelo menos 20%. De fato, o urânio utilizado em armamento tem uma taxa de enriquecimento de 90% ou mais. (Esta é a razão por que minas de urânio não sofrem detonações nucleares espontâneas. Porque o urânio que ocorre naturalmente numa mina de urânio é apenas 0,3% enriquecido, contém uma concentração baixa demais de urânio 235 para sustentar uma reação nuclear em cadeia descontrolada.)

   Como o urânio 235 tem uma vida relativamente curta comparada à de seu gêmeo mais abundante, urânio 238, eras atrás a taxa de enriquecimento que ocorria naturalmente em nosso universo era muito maior que 0,3%.

   Em outras palavras, era muito mais fácil então para qualquer civilização fabricar uma bomba atômica porque a taxa de enriquecimento que ocorria naturalmente era muito maior do que é hoje.
7. Heinz Pagels, *The Cosmic Code* (Nova York: Bantam, 1982), 309.
8. Sagan, *Cosmos*, 231.
9. Citado em Melinda Beck e Daniel Glick, “And If the Comet Misses”, *Newsweek*, 23 de novembro de 1992, 61.

1. Citado em John D. Barrow e Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (Oxford: Oxford University Press, 1986), 167.
2. Citado em Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (Nova York, Bantam, 1985), 382.
3. Ibid., 234.
4. Os astrônomos John D. Barrow, da Universidade de Sussex na Inglaterra, e Joseph Silk, da Universidade da Califórnia em Berkeley, veem alguma esperança nesse cenário sinistro. Eles escrevem: "Para que a vida, em qualquer formato ou forma, sobreviva a essa crise ambiental final, o universo deve satisfazer certas exigências básicas. O pré-requisito básico para a inteligência sobreviver é uma fonte de energia.

   "As anisotropias na expansão cósmica, os buracos negros em evaporação, as singularidades nuas remanescentes são todos de certo modo preservadores de vida (...). Uma infinita quantidade de informação é potencialmente disponível num universo aberto, e sua assimilação seria a principal meta de qualquer inteligência incorpórea sobrevivente" (*The Left Hand of Creation* [Nova York: Basic Books, 1983], p. 226).
5. Ibid.
6. Gerald Feinberg, *Solid Clues* (Nova York: Simon and Schuster, 1985), 95.

1. Citado em Heinz Pagels, *The Cosmic Code* (Nova York: Bantam Books, 1982), 173-174.

2. Edward Witten, Entrevista, em *Superstrings: A Theory of Everything?*, org. Paul Davies e J. Brown (Cambridge: Cambridge University Press, 1988), 102.

3. Citado em John D. Barrow e Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (Oxford: Oxford University Press, 1986), 185.

4. Pagels, *Cosmic Code*, 382.

5. James Trefil, *The Moment of Creation* (Nova York: Macmillan, 1983), 220.

6. John Ellis, Entrevista, em *Superstrings*, org. Davies e Brown, 161.

7. Citado em R. P. Crease e C. C. Mann, *The Second Creation* (Nova York: Macmillan, 1986), 77.

8. Citado em Anthony Zee, *Fearful Symmetry* (Nova York: Macmillan, 1986), 122.

9. Ibid., 274.

10. Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (Nova York: Bantam, 1985), XIII.

11. Stephen Hawking, *A Brief History of Time* (Nova York: Bantam, 1988), 175.

Bibliografia e sugestões para leitura

Abbot, E. A. *Flatland: A Romance of Many Dimensions*. Nova York: New American Library, 1984.

Barrow, J. D., e F. J. Tipler. *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Oxford University Press, 1986.

Bell, E. T. *Men of Mathematics*. Nova York: Simon and Schuster, 1937.

Calder, N. *The Key to the Universe*. Nova York: Penguin, 1977.

Chester, M. *Particles*. Nova York: Macmillan, 1978.

Crease, R. e C. Mann. *The Second Creation*. Nova York: Macmillan, 1986.

Davies, P. *Superforce*: *The Search of a Grand Unified Theory of Nature*. Nova York: Simon and Schuster, 1984.

Davies, P. *The Forces of Nature*. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.

Davies, P. e J. Brown, orgs. *Superstrings: A Theory of Everything?*, Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

Dyson, F. *Disturbing the Universe*. Nova York: Harper & Row, 1979.

Dyson, F. *Infinite in All Directions*. Nova York: Harper & Row, 1988.

Feinberg, G. *Solid Clues*. Nova York: Simon and Schuster, 1985.

Feinberg, G. *What Is the World Made Of?* Nova York: Doubleday, 1977.

French, A. P. *Einstein: A Centenary Volume*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1979.

Gamow, G. *The Birth and Death of Our Sun*. Nova York: Viking, 1952.

Glashow, S. L. *Interactions*. Nova York: Warner, 1988.

Gribben, J. *In Search of Schrödinger's Cat*. Nova York: Bantam, 1984.

Hawking, S. W. *A Brief History of Time*. Nova York: Bantam, 1988. [Ed. bras.: *Uma breve história do tempo*. Rio de Janeiro: Rocco, 1988.]

Heisenberg, W. *Physics and Beyond*. Nova York: Harper Torchbooks, 1971.

Henderson, L. D. *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1983.

Kaku, M. *Introduction to Superstrings*. Nova York: Springer-Verlag, 1988.

Kaku, M. e J., Trainer. *Beyond Einstein*: *The Cosmic Quest for the Theory of the Universe*. Nova York: Bantam, 1987.

Kaufmann, W. J. *Black Holes and Warped Space-Time*. San Francisco: Freeman, 1979.

Lênin, V. *Materialism and Empiro-Criticism*. In K. Marx, F. Engels e V. Lênin, *On Dialectical Materialism*. Moscou: Progress, 1977.

Pagels, H. *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time*. Nova York: Bantam, 1985.

Pagels, H. *The Cosmic Code*. Nova York: Bantam, 1982.

Pais, A. *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford: Oxford University Press, 1982.

Penrose, R. *The Emperor's New Mind*. Oxford: Oxford University Press, 1989.

Polkinghorne, J. C. *The Quantum World*. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1984.

Rucker, R. *Geometry, Relativity and the Fourth Dimension*. Nova York: Dover, 1977.

Rucker, R. *The Fourth Dimension*. Boston: Houghton Mifflin, 1984.

Sagan, C. *Cosmos*. Nova York: Random House, 1980.

Silk, J. The *Big Bang*: *The Creation and Evolution of the Universe*. 2ª. ed. San Francisco: Freeman, 1988.

Trefil, J. S. *From Atoms to Quarks*. Nova York: Scribner, 1980.

Trefil, J. S. *The Moment of Creation*. Nova York, Macmillan, 1983.

Weinberg, S. *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. Nova York: Basic Books, 1988.

Wilczek, F. e B. Devine. *Longing for the Harmonies*. Nova York: Norton, 1988.

Zee, A. *Fearful Symmetry*. Nova York: Macmillan, 1986.

ÍNDICE

Abbot, Ewin, 74, 75
Alvarez, Luis, 320
Alvarez, Walter, 320
Anã branca, 241
Antheil, George, 41
Antimatéria, 141, 146
Antrópico, princípio, 278
Aristóteles, 54
Asimov, Isaac, 23, 302, 334
Askey, Richard, 197
Astecas, 308-309, 324
Astrochicken, 302-303, 329, 333

Banchoff, Thomas, 29
Barrett, *Sir* W. F., 72, 73
Barrow, John D., 330, 332, 333, 350
Bayeux, tapeçaria, 81, 83
Bell, E. T., 51
Big Bang, teoria do, 11, 46, 47, 201, 217-220, 235, 240, 327, 334
Big Crunch, 47, 327, 331
Blake, William, 143
Bohr, Niels, 156, 282
Bolcheviques, 84, 86, 87
Bolyai, János, 363n4
Bond, Nelson, 94
Borges, Jorge Luis, 284
Borwein, Jonathan, 197
Borwein, Peter, 197
Bose, Satyendra, 163
Bóson, 163
Bóson de Higgs, 146, 204
Bóson *Z*, 142

Bósons *W*, 134, 142
Bronowski, Jacob, 100
Buller, A. H. R., 255
Buracos de minhoca, 10, 36, 43, 235, 250-253, 268-270, 278, 288-291
Buracos negros, 41, 239-240, 244, 267, 275, 330
Busca de inteligência extraterrestre (SETI), 305
Bush, Ian D., 208

Capra, Fritjhof, 343
Carroll, Lewis (Charles Dodgson), 41, 42, 62, 80, 144
Casimir, efeito, 272
Casimir, Henrik, 272
Causalidade, 256
Chandrasekhar, Subrahmanyan, 113, 248
Chatalândia (*Flatland*), 66-68, 89-92, 126, 201, 366n10
Chew, Geoffrey, 349
Civilizações Tipo I, II, III, 300-302, 314-316, 325-328
Clifford, William, 363n6
Coleman, Sidney, 288
Cometa Swift-Tuttle, 318
Comte, Auguste, 207
Condição de energia fraca média (AWEC), 272
Conrad, Joseph, 41
Constante cosmológica, 289
Corda heterótica, 178, 370n10
Corpo negro, radiação do, 219
Cosmic Background Explorer (COBE), 222-224
Cromodinâmica quântica (QCD), 142
Crookes, William, 69-70, 365n13
Cubos de Hinton, 88-90
Curva de energia de ligação, 240
Curva temporal fechada, 262, 270
Curvatura, 60

Dali, Salvador, 89
Darwin, Charles, 47, 151, 325
Davies, Paul, 295
Desvio para o vermelho, 218
Deus, 213, 355
prova cosmológica de, 213
prova ontológica de, 214
prova teleológica de, 213
DeWitt, Bryce, 162, 284
Dimensão compactada, 124-25, 177
Dirac, P. A. M., 131, 166, 210, 352
Dirkson, Everett, 204
Dixon, L., 371n3
Dostoiévski, Fiodor, 41, 84
Doyle, *Sir* Arthur Conan, 187
Drake, Frank, 306
Duchamp, Marcel, 41
Dyson, Freeman, 280, 302, 308

Ehrenfest, Paul, 364n11
Einstein, Albert, 24, 29, 32, 34, 98-127, 132-133, 157, 161, 173, 176, 224, 255, 265, 288, 327, 338, 351, 342, 368n13
Einstein-Rosen, ponte, 246
Eletrodinâmica quântica (QED), 142
Ellis, John, 211, 351
Empenamento do espaço, 110-112
Erikson, Erik, 231
Espaços multiplamente conectados, 37-38
Estrela de nêutrons, 242, 372n1
Everett, Hugh, 284

Faraday, Michael, 44, 98, 120-21, 188, 211
Feinberg, Gerald, 47, 332
Fermi, Enrico, 137, 163

Férmions, 163
Ferrara, Sergio, 164
Feynman, diagramas de, 139, 157, 185, 350
Feynman, Richard, 149, 281
Fóton, 133
Freedman, Daniel, 164
Freund, Peter, 30, 124-25, 370n9
Função de onda do universo, 276, 285
Funções modulares, 192, 196
Fundo de micro-ondas, 221-222

Gamow, George, 219, 260
Gauss, Carl Friedrich, 52, 81, 362n4
Gell-Mann, Murray, 200
Geller, Uri, 73
Geometria euclidiana, 53-4, 59
Geometria não euclidiana, 54-57
Georgi, Howard, 159
Gigante vermelha, 240
Gladstone, William, 44
Glashow, Sheldon, 140, 200
Glúons, 35, 141-42
Gödel, Kurt, 262-266
Goldsmith, Donald, 305
Gravidade, 34, 110-113, 120-121, 145, 157, 165, 173, 205, 275, 361n4
Gravitino, 165
Gráviton, 157, 173, 205
Green, Michael, 35, 174, 189
Gross, David, 176, 228, 339, 340
Grossman, Marcel, 113
Guth, Alan, 39, 46, 223, 281

Hardy, Godfrey, 195
Hartle, James, 275

Harvey, Jeffrey, 176, 371n3
Hawking, Stephen, 165, 257, 274, 289, 359
Heinlein, Robert, 96, 258
Heisenberg, Werner, 131, 155, 186, 348
Henderson, Linda Dalrymple, 41, 82
Hernquist, Lars, 323
Hinton, Charles, 73, 87-95, 104, 107
Hiper-rosquinha, 116-117
Hipercubo, 89, 96-97
Hiperesfera, 115, 368n10
Holismo, 342
Horowitz, Paul, 305
Hubble, Edwin, 218
Hume, David, 202
Huxley, Thomas H., 355

Inflação, 223
Interações eletromagnéticas, 32, 142, 145, 363n6
Interações fortes, 33, 134, 141, 235
Interações fracas, 33, 134, 141, 235

James, William, 41
Jeans, *Sir* James, 328
Johnson, Lyndon, 183, 204

Kaluza, Theodr, 119, 120, 124-127, 363n6, 368n13
Kardashev, Nikolai, 300
Kepler, Johannes, 359
Kerr, Roy, 247
Kikkawa, Keiji, 181, 186, 228
Klein, Oskar, 126, 127, 162, 229

Lawrence, Ernest, 206
Lei de Faraday, 55

Lei de Hubble, 218
Lenard, Philip, 338
Lênin, Vladimir, 41, 84, 86-87, 107, 366n6
Leonardo da Vinci, 83
Lépton tau, 146
Léptons, 142, 146, 164, 205
Linha do mundo, 259-262
Littlewood, John, 195
Lobachevski, Nikolaus I., 363n4
Lodge, *Sir* Oliver, 72
Lovelace, Claude, 188

Mach, Ernst, 86
Mach, princípio de, 111, 264
Mandel, Heinrich, 368n13
Mandelstam, Stanley, 185
Marsden, Brian, 317
Martinec, Emil, 176
Marx, Karl, 52
Massa faltante, 328
Matéria escura, 328
Maxwell, equações de, 121-23, 142, 149, 156, 161, 298, 367n4, 370n13
Maxwell, James Clerk, 11, 26, 105-106, 121, 211, 338
McDonald, George, 80
McGovern, George, 170
Meia-vida, 153
Michel, Helen, 320
Michell, John, 245
Mie, Gustav, 368n13
Mills, R. L., 45, 138
Möbius, August, 71
Möbius, fita de, 79-80, 116
Modelo Padrão, 141, 150, 156, 169, 172, 174, 190, 192, 233, 289, 337, 343, 370n9, 372n4
More, Henry, 40

Morris, Michael, 267
Morte por entropia, 328
Muller, Richard, 321
Múon, 147

Nambu, Yoichiro, 181
Nanopoulous, D. V., 174
Nappi, Chiara, 170
Neutrino, 145, 147, 209, 210
Newman, Ezra, 265
Newton, constante de, 361n4
Newton, Isaac, 11, 104, 135, 166, 264, 353, 364n11
Nordstrom, Gunnar, 124, 368n13
Nuvem de Oort, 321

Oppenheimer, J. Robert, 132
Orbifolds, 225-227, 233, 372n4
Ostriker, Jeremiah P., 221
Ouspensky, P. D., 84
Owen, Tobius, 305

Pagels, Heinz, 28, 159, 280, 313, 358
Pauli, princípio de exclusão de, 372n1
Pauli, Wolfgang, 126, 155, 209
Penzias, Arno, 219
Piaget, Jean, 231
Picasso, Pablo, 84
Planck, comprimento de, 35, 291, 361n1
Planck, constante de, 133, 361n1
Planck, energia de, 127, 157, 198, 207, 291
Planck, Max, 108
Poincaré, Henri, 149, 351
Princípio de equivalência, 109
Princípio de Incerteza de Heisenberg, 134, 208

Problema de família, 146, 227
Problema de geração, 146, 227-228
Próton, desintegração do, 152
Proust, Marcel, 41
Prova cosmológica de Deus, 214
Prova ontológica de Deus, 214
Prova teleológica de Deus, 214
Ptolomeu, 54
Pulsar, 242

Quanta, 133
quark *strange*, 147
quark *top*, 147
quarks com sabor, 141, 147
superquarks, 204
Quarks, 35, 141, 145, 161, 204, 235
bottom, 147
charmed, 147
coloridos, 141, 147
Quebra de Simetria, 231-235

Rabi, Isidor I., 12, 358
Raios cósmicos, 205-207
Ramanujan, funções de, 370n13
Ramanujan, Srinivasa, 193
Raup, David, 321
Reducionismo, 342-345
Reissner-Nordstrom, solução de, 247
Relatividade especial, 101-105
Relatividade geral, 111-114, 120, 157, 273
Ressonância, 160, 172
Riemann, Georg Bernhard, 42, 50-65, 81, 98, 110-111, 127, 351, 354, 362n2, 363n6, 368n13
Riemann, tensor métrico de, 59, 60, 98, 113, 121, 162, 165, 166, 364n7

Rohm, Ryan, 176
Russell, Bertrand, 47, 326
Rutherford, Ernest, 150

Sagan, Carl, 268, 319
Sakita, Bunji, 181
Salam, Abdus, 164, 232
Schapiro, Meyer, 84
Schell, Jonathan, 311
Scherk, Joel, 188
Schofield, A. T., 74, 365n1
Schrödinger, Erwin, 131
Schrödinger, gato de, 281
Schwarz, John, 35, 174, 177, 188-189
Schwarzschild, Karl, 184
Schwinger, Julian, 156
Scriabin, Alexander, 41
Sepkoski, John, 321
Sheehy, Gail, 231
Silk, Joseph, 330, 374n4
Simetria, 106, 143-150, 231-236
Singer, Isadore A., 351
Slade, Henry, 68, 72
Slépton, 205
Smoot, George, 221, 222
Snow, C. P., 328
Solução NUT, 266
Sparnaay, M. J., 273
Spielberg, Steven, 37
Spin, 163, 168
Stefan-Boltzmann, lei de, 219
Stein, Gertrude, 41
Superconducting Supercollider (SSC), 35, 203-207, 296, 340
Supercordas, 8, 35, 170-205, 361n1, 370n10

Supergravidade, 8, 35, 163-166, 168, 205, 361n1, 370n10, 372n4
Supernova, 242, 319
Supersimetria, 163, 205
Susskind, Leonard, 290
Suzuki, Mahiko, 180, 187, 350

’t Hooft, Gerard, 138, 167, 349
Tamburino, Louis, 265
Teorema de Pitágoras, 57, 364n7
Teoria da matriz S, 349-350
Teoria da perturbação, 139
Teoria de campo, 44, 45, 59, 98, 112-14, 175, 185-188
Teoria de Nêmesis, 320
Teoria dos muitos mundos, 283
Teoria Kaluza-Klein, 8, 27, 35, 119-124, 158-163, 165, 173, 189, 229, 337, 346, 361n1, 370n9
Teoria não renormalizável, 146, 169
Teoria quântica, 132
Teoria unificada de campo, 24, 118, 132
Teorias da Grande Unificação (GUTs), 150, 161, 176, 178, 227, 235, 289, 329, 343, 350, 372n4
Termodinâmica, segunda lei da, 328
Tesseract, 89, 96-97
Thompson, J. J., 69
Thorne, Kip, 39, 267-271
Tipler, Frank, 266, 332-334
Tomás de Aquino, 214
Townsend, Paul, 167
Trainer, Jennifer, 12, 346
Transição de fase, 231-236
Trefil, James S., 343
Treiman, Samuel, 170
Tunelamento, 136, 229-230

Unti, Theodore, 265
Updike, John, 209

Vácuo, falso, 230, 233
Vafa, Cumrum, 224
van Nieuwenhuizen, Peter, 164, 166-168
van Stockum W. J., 266
Velocidade de escape, 245
Veltman, Martinus, 139, 166
Veneziano, Gabriel, 180, 187, 190, 350
Viagem no tempo, 38-39, 254,-273
Virasoro, Miguel, 181
von Fraunhofer, Joseph, 207
von Helmholtz, Hermann, 29, 64, 338
von Neumann, John, 333, 334
Vranceanu, George, 124

Weber, Wilhelm, 55, 69
Weinberg, Steven, 28, 140, 142, 159, 167, 200, 281
Weisskopf, Victor, 113, 338
Wells, H. G., 39, 41, 78-80, 104, 116, 254, 271
Wetherill, George W., 306
Whitehead, Alfred North, 352
Wigner, Eugene, 352
Wilczek, Frank, 284
Wilde, Oscar, 41, 77
Willink, Arthur, 41, 74, 340
Wilson, Edward O., 356
Wilson, Robert, 219
Witten, Edward, 170-171, 181, 200, 210, 228, 340, 369n6, 371n3
Witten, Leonard, 170
Wulf, Theodor, 206
Wyndham, John, 286

Xenófanes, 279

Yang, C. N., 45, 138, 148
Yang-Mills, campo de, 45, 138, 140-143, 151, 154, 158, 161, 162, 349, 350
Yu, Loh-ping, 185
Yukawa, Hideki, 186
Yurtsever, Ulvi, 267

Zollner, Johann, 69-72, 104, 365n13

Título Original
HYPERSPACE
A Scientific Odyssey Through Parallel Universes, Time Warps, and the 10th Dimension

Copyright © 1994 *by* Oxford University Press, Inc.
Todos os direitos reservados

Direitos desta edição reservados à
EDITORA ROCCO LTDA.
Av. Presidente Wilson, 231 – 8º andar
20030-021 – Rio de Janeiro – RJ
Tel.: (21) 3525-2000 – Fax: (21) 3525-2001
rocco@rocco.com.br
www.rocco.com.br

Preparação de originais
RYTA VINAGRE

Coordenação Digital
LÚCIA REIS

Assistente de Produção Digital
JOANA DE CONTI

Revisão de arquivo ePub
CLARICE GOULART

Edição Digital: fevereiro, 2015

CIP-Brasil. Catalogação na Publicação.
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ

K19h

Kaku, Michio

Hiperespaço [recurso eletrônico] : uma odisseia científica através de universos paralelos, empenamentos do tempo e a décima dimensão / Michio Kaku ; ilustração Robert O'keefe ; tradução Maria Luiza X. de A. Borges ; revisão técnica Walter Maciel. - 1. ed. - Rio de Janeiro : Rocco Digital, 2014.

recurso digital

Tradução de: Hyperspace: a scientific odyssey through parallel universes, time warps, and the 10th dimension

ISBN 978-85-8122-509-8 (recurso eletrônico)

1. Astronomia. 2. Estrelas. 3. Livros eletrônicos. I. O'keefe, Robert. II. Maciel, Walter. III. Título.

14-18163

CDD: 520

CDU: 52

O texto deste livro obedece às normas do Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa.

O AUTOR

Michio Kaku é um dos mais renomados e populares físicos do momento. Ele é professor catedrático de Física Teórica na City University, de Nova York. Graduou-se em Harvard e recebeu seu título de doutor em Berkeley. Escreveu vários livros de sucesso, incluindo *Hiperespaço*, publicado pela Rocco e citado como uma das melhores obras científicas do ano pelo *The New York Times* e o *The Washington Post*.

Ele é conhecido por apresentar de forma simples e acessível as descobertas mais recentes da cosmologia. Participou inúmeras vezes de programas televisivos e foi apresentador da série produzida pela BBC, *Mundos paralelos*, exibida no Brasil pelo *Fantástico* (TV Globo).