

TÍTULO:
O COSMO DE EINSTEIN

SUBTÍTULO:
Como a visão de Albert Einstein transformou nossa compreensão de espaço e tempo

AUTOR:
Michio Kaku

COLEÇÃO:
Grandes Descobertas

EDITORA:
Companhia das Letras

COMPANHIA DAS LETRAS

Encontre mais livros como este no e-Livros

e-Livros.xyz

e-Livros.site

e-Livros.website

COLEÇÃO GRANDES DESCOBERTAS

O cosmo de Einstein: como a visão de Albert Einstein transformou nossa compreensão de espaço e tempo, de Michio Kaku

A peste dos médicos: germes, febre pós-parto e a estranha história de Ignác Semmelweis, de Sherwin B. Nuland

Gênio obsessivo: o mundo interior de Marie Curie, de Barbara Goldsmith

Lavoisier no Ano Um: o nascimento de uma nova ciência numa era de revolução, de Madison Smartt Bell

TÍTULO:
O COSMO DE EINSTEIN

SUBTÍTULO:
Como a visão de Albert Einstein transformou nossa compreensão de espaço e tempo

AUTOR:
Michio Kaku

TRADUÇÃO:
Ivo Korytowski

COLEÇÃO:
Grandes Descobertas

EDITORA:
Companhia das Letras

COMPANHIA DAS LETRAS

Este livro é dedicado a Michelle e Alyson.

SUMÁRIO

Prefácio: Um novo olhar sobre o legado de Albert Einstein

PARTE I PRIMEIRO QUADRO: APOSTANDO CORRIDA COM UM RAIO DE LUZ

CAPÍTULO 1 A física antes de Einstein
CAPÍTULO 2 Os anos iniciais
CAPÍTULO 3 Relatividade restrita e o "ano milagroso"

PARTE II SEGUNDO QUADRO: ESPAÇO-TEMPO DEFORMADO

CAPÍTULO 4 Relatividade geral e o "pensamento mais feliz da minha vida"
CAPÍTULO 5 O novo Copérnico
CAPÍTULO 6 O Big-Bang e os buracos negros

PARTE III O QUADRO INACABADO: A TEORIA DO CAMPO UNIFICADO

CAPÍTULO 7 Unificação e o desafio quântico
CAPÍTULO 8 Guerra, paz e $E = mc^2$
CAPÍTULO 9 O legado profético de Einstein

Notas
Bibliografia
Agradecimentos

PREFÁCIO
UM NOVO OLHAR SOBRE O LEGADO DE ALBERT EINSTEIN

Gênio. Professor distraído. O pai da relatividade. A figura mítica de Albert Einstein — cabelos esvoaçando, sem meias, trajando um suéter enorme, sorvendo seu cachimbo, sem perceber o que se passa à sua volta — está gravada de forma indelével em nossas mentes. "Um ícone pop à altura de Elvis Presley e Marilyn Monroe, ele nos fita enigmaticamente de postais, capas de revistas, camisetas e cartazes gigantes. Um agente de Beverly Hills vende a sua imagem para comerciais da televisão. Ele teria odiado tudo isso", escreve o biógrafo Denis Brian.[1]

Einstein está entre os maiores cientistas de todos os tempos, uma figura grandiosa cujas contribuições são comparáveis às de Isaac Newton. Não surpreende que a revista *Time* o tenha eleito a Personalidade do Século. Muitos historiadores o incluíram entre os cem indivíduos mais influentes dos últimos mil anos.

Dado o seu lugar na história, um novo esforço para reexaminar sua vida justifica-se por vários motivos. Para começar, suas teorias são tão profundas que as previsões que ele fez décadas atrás continuam dominando as manchetes. Portanto, é vital que tentemos compreender as raízes dessas teorias. À medida que uma nova geração de instrumentos, inconcebíveis na década de 1920 (por exemplo, satélites, lasers, supercomputadores, nanotecnologia, detectores de ondas gravitacionais), investiga os domínios remotos do cosmos e o interior do átomo, as previsões de Einstein estão conquistando prêmios Nobel para outros cientistas. Mesmo as contribuições menores de Einstein abrem novos horizontes para a ciência. O prêmio Nobel de 1993, por exemplo, foi dado a dois físicos que confirmaram indiretamente a existência de ondas gravitacionais, previstas por Einstein em 1916, ao analisar o movimento de estrelas de nêutrons duplas no céu. Além disso, o prêmio Nobel de 2001 foi dado a três físicos que comprovaram a existência de condensados de Bose-Einstein, um novo estado da matéria, existente perto do zero absoluto, que Einstein previu em 1924.

Outras previsões estão sendo confirmadas. Os buracos negros, antes considerados um aspecto estranho da teoria de Einstein, foram agora identificados pelo Telescópio Espacial Hubble e pelo Radiotelescópio VLA (Very Large Array). Os anéis e as lentes de Einstein, além de terem sido confirmados, constituem também ferramentas-chave usadas pelos astrônomos para medir objetos invisíveis no espaço.

Mesmo os "erros" de Einstein estão sendo reconhecidos como imensas contribuições ao

nosso conhecimento do universo. Em 2001, astrônomos encontraram sinais convincentes de que a "constante cosmológica", que era tida como grande erro de Einstein, na verdade contém a maior concentração de energia do universo e determinará o destino final do próprio cosmos. Desse modo, experimentalmente, tem havido um "renascimento" do legado de Einstein à medida que novos indícios se acumulam em apoio às suas previsões.

Além disso, os físicos estão reavaliando o seu legado e, em especial, o desenvolvimento de suas idéias. Enquanto biografias recentes examinaram minuciosamente sua vida privada em busca de pistas das origens de suas teorias, os físicos cada vez mais se dão conta de que as teorias de Einstein, longe de se basearem numa matemática hermética, têm por base imagens físicas simples e concisas. (A vida amorosa de Einstein também não era o que se pode chamar de "matemática"!) Ele costumava comentar que se uma teoria nova não se baseasse em uma imagem física simples o suficiente para uma criança entender, provavelmente era inútil.

Neste livro, portanto, essas imagens, esses produtos da imaginação científica de Einstein, tornam-se um princípio organizador formal em torno dos quais são descritos o desenvolvimento de suas idéias e suas maiores realizações.

A parte I utiliza a imagem em que Einstein pensou pela primeira vez quando tinha dezesseis anos: que aspecto teria um raio de luz se ele pudesse correr a seu lado? Essa imagem, por sua vez, provavelmente se inspirou num livro infantil que ele leu. Ao visualizar o que aconteceria se apostasse corrida com um raio de luz, Einstein isolou a contradição-chave entre as duas grandes teorias da época: a teoria das forças de Newton e a teoria dos campos e da luz de Maxwell. No processo de resolução deste paradoxo, ele sabia que uma dessas duas grandes teorias — a de Newton, ao que se revelou — teria que sucumbir. Em certo sentido, toda a relatividade restrita (que revelaria o segredo das estrelas e da energia nuclear) está contida nessa imagem.

Na parte II somos apresentados a outra imagem: Einstein imaginou os planetas como bolas de gude rolando em torno de uma superfície curva centrada no Sol, como uma ilustração da idéia de que a gravidade se origina da curvatura do espaço e do tempo. Ao substituir as forças de Newton pela curvatura de uma superfície regular, Einstein forneceu um modelo totalmente novo e revolucionário da gravidade. Nesse novo arcabouço, as "forças" de Newton eram uma ilusão causada pela curvatura do próprio espaço. As conseqüências dessa imagem simples acabariam nos fornecendo os buracos negros, o Big-Bang e o destino final do próprio universo.

A parte III não possui uma imagem — essa seção é mais sobre a incapacidade de obter uma imagem que servisse de base à sua "teoria do campo unificado", coroando assim 2 mil anos de investigação das leis da matéria e energia. Só que a intuição de Einstein começou a falhar, pois nada se sabia na época sobre as forças que regiam o núcleo e as partículas subatômicas.

Essa teoria do campo unificado inacabada e sua busca, durante trinta anos, de uma "teoria de tudo" não foram de modo algum um fracasso — embora este fato só tenha sido reconhecido recentemente. Seus contemporâneos viram aquilo como um esforço inútil. O físico e biógrafo de Einstein, Abraham Pais, lamentou: "Nos últimos trinta anos de vida, ele se manteve ativo na pesquisa, mas sua fama continuaria nas alturas, ou até aumentaria, se em vez disso tivesse ido pescar".[2] Em outras palavras, seu legado poderia ter sido ainda maior se ele tivesse abandonado

a física em 1925, em vez de 1955.

Todavia, nos últimos dez anos, com o advento de uma nova teoria denominada "teoria das supercordas" ou "teoria-M", os físicos vêm reavaliando a obra final de Einstein e seu legado, à medida que a busca da teoria do campo unificado conquistou o primeiro plano do mundo da física. A corrida para chegar à teoria de tudo tornou-se o objetivo máximo de toda uma geração de cientistas jovens e ambiciosos. A unificação, antes considerada própria de físicos em final de carreira, tornou-se agora o tema dominante da física teórica.

Neste livro, espero dar uma visão nova e estimulante do trabalho pioneiro de Einstein. Talvez até uma descrição mais precisa de seu legado duradouro da perspectiva privilegiada de imagens físicas simples. Seus insights, por sua vez, inspiraram a geração atual de experimentos novos e revolucionários no espaço e em laboratórios de física avançada e estão motivando a tentativa intensa de realizar seu sonho mais caro: uma teoria de tudo. Esta é a abordagem de sua vida e obra que, creio, ele teria preferido.

PARTE I
PRIMEIRO QUADRO
APOSTANDO CORRIDA COM UM RAIO DE LUZ

CAPÍTULO 1
A FÍSICA ANTES DE EINSTEIN

Um jornalista pediu certa vez a Albert Einstein, o maior gênio da ciência desde Isaac Newton, que explicasse sua fórmula de sucesso. O grande pensador refletiu por um segundo e depois respondeu: "Se A é sucesso, eu diria que a fórmula é A = X + Y + Z, X sendo trabalho e Y sendo diversão".[1]

"E o que é Z?", perguntou o jornalista.

"É ficar de bico calado", respondeu ele.

O que o tornava tão querido pelos físicos, reis e rainhas e o público em geral era sua humanidade, sua generosidade e sua presença de espírito, quer estivesse defendendo a causa da paz mundial ou sondando os mistérios do universo.

Até as crianças corriam para ver o ilustre e velho homem da física percorrer as ruas de Princeton, e ele retribuía o interesse abanando as orelhas para elas. Einstein gostava de conversar com um menino de cinco anos que o acompanhava em suas caminhadas até o Instituto de Estudos Avançados. Um dia, enquanto andavam, Einstein riu de repente. Quando a mãe do menino perguntou sobre o que haviam conversado, o filho respondeu: "Perguntei a Einstein se ele tinha ido ao banheiro hoje". A mãe ficou horrorizada, mas então Einstein respondeu: "Fico feliz quando alguém me faz uma pergunta que consigo responder".

Como disse certa vez o físico Jeremy Bernstein: "Todos que entravam de fato em contato com Einstein saíam com uma sensação dominante da nobreza daquele homem. A palavra que sempre vem à mente é sua humanidade, o jeito simples e amável de sua personalidade".[2]

Einstein, que era igualmente bondoso com mendigos, crianças ou reis, também foi generoso com seus predecessores no panteão ilustre da ciência. Embora os cientistas, como todos os indivíduos criativos, possam ter a triste fama de ciumentos em relação aos rivais, envolvendo-se em brigas mesquinhas, Einstein fazia todo o possível para que as origens das idéias de que foi pioneiro fossem remontadas aos gigantes da física do passado, incluindo Isaac Newton e James Clerk Maxwell, cujos retratos estavam expostos com destaque em sua escrivaninha e na parede. Na verdade, o trabalho de Newton em mecânica e gravidade e de Maxwell em luz formavam os dois pilares da ciência na virada para o século XX. É notável que quase todo o conhecimento físico da época estivesse corporificado nas realizações desses dois físicos.

Esquece-se com facilidade que, antes de Newton, o movimento dos objetos na Terra e nos céus era praticamente inexplicável, muitos acreditando que nossos destinos eram determinados pelos desígnios malévolos de espíritos e demônios. Bruxaria, feitiçaria e superstição eram

acaloradamente debatidos mesmo nos centros de aprendizado mais eruditos da Europa. A ciência, como a conhecemos, não existia.

Os filósofos gregos e os teólogos cristãos, em particular, escreveram que os objetos se deslocavam motivados por desejos e emoções semelhantes aos dos seres humanos. Para os seguidores de Aristóteles, os objetos em movimento perdiam velocidade porque ficavam "cansados". Os objetos caíam no chão porque "desejavam" unir-se à Terra, eles escreveram.

O homem que botaria ordem nesse mundo caótico de espíritos era, em certo sentido, o inverso de Einstein em temperamento e personalidade. Enquanto Einstein era sempre generoso com seu tempo e não poupava ditos espirituosos para agradar a imprensa, Newton era notoriamente um recluso, com tendência à paranóia. Bastante desconfiado dos outros, teve brigas acirradas e prolongadas com os cientistas em torno da precedência de certas idéias. Sua reserva era lendária: quando membro do parlamento britânico, durante a sessão de 1689-90, o único incidente registrado em que se manifestou ante aquela insigne instituição foi quando sentiu uma corrente de ar e pediu ao porteiro que fechasse a janela. De acordo com o biógrafo Richard S. Westfall, Newton era um "homem torturado, uma personalidade extremamente neurótica, que vivia cambaleando, pelo menos na meia-idade, à beira de um colapso".[3]

Mas, em questões de ciência, Newton e Einstein eram verdadeiros mestres, compartilhando muitas características básicas. Ambos conseguiam passar obsessivamente semanas e meses em intensa concentração, até chegar à exaustão física e ao colapso. E ambos tinham a capacidade de visualizar numa imagem simples os segredos do universo.

Em 1666, aos 23 anos, Newton expulsou os espíritos que assolavam o mundo aristotélico, introduzindo uma mecânica nova baseada em *forças*. Newton propôs três leis do movimento em que os objetos se deslocavam porque estavam sendo empurrados ou puxados por forças que podiam ser medidas precisamente e expressas por equações simples. Em vez de especular sobre os desejos dos objetos ao se moverem, Newton conseguia calcular qualquer trajetória — de folhas caindo, projéteis subindo, balas de canhão, nuvens — somando as forças que agiam sobre o objeto. Não se tratava apenas de uma questão acadêmica. Pelo contrário, a mecânica de Newton ajudou a criar a base da Revolução Industrial, em que o poder de máquinas a vapor acionando enormes locomotivas e navios deu origem a impérios novos. Pontes, barragens e arranha-céus gigantes podiam agora ser construídos com grande segurança, já que as tensões sobre cada tijolo ou viga podiam ser calculadas. Tamanho foi o sucesso da teoria das forças de Newton que ele foi merecidamente tratado como uma celebridade em vida, levando Alexander Pope a aclamar:

Nature and Nature's laws lay hid in night,
God said, Let Newton be! and all was light.

[A natureza e suas leis jaziam no negror;
Deus disse, faça-se Newton! E tudo se iluminou.]

Newton aplicou sua teoria das forças ao próprio universo, propondo uma nova lei da

gravidade. Ele gostava de contar a história de como retornou à propriedade rural da família, em Woolsthorpe, Lincolnshire, depois que a Peste Negra forçou o fechamento da Universidade de Cambridge. Certo dia, ao ver uma maçã cair de uma árvore em sua propriedade, fez a si mesmo a pergunta decisiva: se uma maçã cai, será que a Lua também cai? A força gravitacional que age sobre uma maçã na Terra pode ser a mesma força que direciona o movimento dos corpos celestes? Isto era heresia, porque se supunha que os planetas repousassem em esferas fixas, que obedeciam a leis celestiais perfeitas, ao contrário das leis do pecado e redenção que regiam as sendas perversas da humanidade.

Em um lampejo, Newton percebeu que poderia unificar a física terrestre e a celeste numa única imagem. A força que atraía uma maçã ao chão deve ser a mesma força que se estende até a Lua e direciona sua trajetória. Ele topou com uma nova visão da gravidade. Imaginou-se sentado no alto de uma montanha, atirando uma pedra. Ao atirar a pedra cada vez mais rápido, percebia que podia arremessá-la cada vez mais longe. Mas aí ele deu o salto fatídico: o que acontece se você atira a pedra tão rápido que ela nunca retorna ao solo? Ele percebeu que uma pedra, caindo continuamente sob a gravidade, não atingiria a Terra, mas giraria em volta dela, e acabaria voltando ao seu dono e atingindo sua cabeça por atrás. Nessa nova visão, ele substituiu a pedra pela Lua, que estava em constante queda, mas sem nunca atingir o solo, porque, assim como a pedra, dava uma volta ao redor da Terra numa órbita circular. A Lua não estava repousando sobre uma esfera celeste, como pensava a Igreja, mas em constante queda livre, como uma pedra ou maçã, direcionada pela força da gravidade. Esta foi a primeira explicação dos movimentos do sistema solar.

Duas décadas mais tarde, em 1682, a população de Londres ficou aterrorizada e espantada com um cometa brilhante que vinha iluminando o céu noturno. Newton acompanhou com atenção o movimento do cometa com um telescópio refletor (uma de suas invenções) e descobriu que se enquadrava perfeitamente em suas equações, pressupondo-se estar em queda livre e sofrer a ação da gravidade. Com o astrônomo amador Edmund Halley, pôde prever com exatidão quando o cometa (mais tarde conhecido como cometa de Halley) voltaria — a primeira previsão do movimento de cometas realizada. As leis da gravidade com que Newton calculou o movimento do cometa de Halley e da Lua são as mesmas empregadas hoje em dia pela Nasa para direcionar suas sondas espaciais, com precisão incrível, por Urano e Netuno.

De acordo com Newton, essas forças agem instantaneamente. Por exemplo, se o Sol de repente desaparecesse, Newton acreditava que a Terra seria arremessada de imediato para fora de sua órbita e congelaria no espaço. Todos no universo saberiam que o Sol acabara de desaparecer naquele exato instante do tempo. Desse modo, é possível sincronizar todos os relógios de modo que pulsem uniformemente em qualquer ponto do universo. Um segundo na Terra tem a mesma duração de um segundo em Marte e Júpiter. À semelhança do tempo, o espaço também é absoluto. Réguas métricas na Terra têm o mesmo comprimento de réguas métricas em Marte e Júpiter. Réguas métricas não mudam de comprimento em nenhum lugar do universo. Segundos e metros são, portanto, os mesmos, não importa por onde viajemos no espaço.

Newton, portanto, baseou suas idéias na noção do senso comum de *espaço e tempo absolutos*.

Para Newton, espaço e tempo formavam um referencial absoluto, em relação ao qual podemos julgar o movimento de todos os objetos. Se estamos viajando de trem, por exemplo, acreditamos que o trem esteja se movendo e que a Terra esteja parada. No entanto, ao contemplar as árvores que passam pelas janelas, podemos especular que talvez o trem esteja em repouso, e que as árvores estejam sendo arremetidas diante de nossas janelas. Como tudo no trem parece imóvel, podemos fazer a pergunta: o que está realmente se movendo, o trem ou as árvores? Para Newton, o referencial absoluto poderia fornecer a resposta.

As leis de Newton permaneceram a base da física por quase dois séculos. Depois, no final do século XIX, à medida que novas invenções, como o telégrafo e a lâmpada elétrica, revolucionavam as grandes cidades da Europa, o estudo da eletricidade fez surgir um conceito totalmente novo de ciência. Para explicar as forças misteriosas da eletricidade e do magnetismo, James Clerk Maxwell, um físico escocês da Universidade de Cambridge, em atividade na década de 1860, desenvolveu uma teoria da luz baseada não nas forças newtonianas, mas num conceito novo chamado *campos*. Einstein escreveu que o conceito de campo "é o mais profundo e o mais produtivo que a física experimentou desde Newton".[4]

Esses campos podem ser visualizados espalhando-se limalha de ferro sobre uma folha de papel. Colocando-se um ímã sob a folha de papel, a limalha magicamente se reagrupará num padrão semelhante a uma teia de aranha, com linhas se estendendo do pólo Norte ao pólo Sul. Em torno de qualquer ímã, portanto, existe um campo magnético, um arranjo invisível de linhas de força penetrando por todo o espaço.

A eletricidade cria campos também. Nas feiras de ciência, as crianças riem ao ver seus cabelos eriçados quando tocam numa fonte de eletricidade estática. Os cabelos delineiam as linhas do campo elétrico invisível que emana da fonte.

Esses campos, porém, são bem diferentes das forças introduzidas por Newton. As forças, disse Newton, agem instantaneamente por todo o espaço, de modo que uma perturbação em uma parte do universo seria no mesmo momento sentida por todo o universo. A observação brilhante de Maxwell foi de que os efeitos magnéticos e elétricos não se deslocam instantaneamente, como as forças newtonianas, mas levam tempo e se movem a uma velocidade definida. Seu biógrafo Martin Goldman escreve: "A idéia do *tempo* da ação magnética parece ter acometido Maxwell como um raio caído do céu".[5] Maxwell mostrou, por exemplo, que se agitássemos um ímã decorreria algum tempo até a limalha de aço em volta se mover.

Imagine uma teia de aranha vibrando ao vento. Uma perturbação como o vento numa parte da teia causa uma ondulação que se espalha por toda a rede. Nos campos e teias de aranha, ao contrário das forças, vibrações se deslocam a uma velocidade definida. Maxwell pôs-se então a calcular a velocidade desses efeitos magnéticos e elétricos. Num dos maiores avanços do século XIX, utilizou esta idéia para solucionar o mistério da luz.

Maxwell sabia, com base no trabalho anterior de Michael Faraday e outros, que um campo magnético em movimento pode criar um campo elétrico e vice-versa. Os geradores e motores que eletrificam o nosso mundo são conseqüências diretas dessa dialética. (Este princípio é usado para iluminar os nossos lares. Por exemplo, numa barragem, a água em queda gira uma

roda, que por sua vez gira um ímã. O campo magnético em movimento aciona os elétrons, que se deslocam num fio de alta voltagem até as tomadas das paredes de nossas salas. De forma semelhante, num aspirador de pó, a eletricidade que flui de nossas tomadas cria um campo magnético que faz as lâminas do motor girarem.)

A genialidade de Maxwell foi reunir esses dois efeitos. Se um campo magnético cambiante consegue criar um campo elétrico e vice-versa, talvez ambos possam formar um movimento cíclico, com campos elétricos e campos magnéticos alimentando-se mutuamente de forma contínua e transformando-se um no outro. Maxwell logo percebeu que esse padrão cíclico criaria um grupo móvel de campos elétricos e magnéticos, todos vibrando em uníssono, cada um se transformando no outro numa onda sem fim. Então ele calculou a velocidade dessa onda.

Para seu espanto, descobriu que era a velocidade da luz. Além disso, talvez na afirmação mais revolucionária do século XIX, ele sustentou que aquilo *era* luz. Maxwell então anunciou profeticamente aos colegas: "Dificilmente podemos evitar a conclusão de que a *luz consiste em ondulações transversais do mesmo meio que é a causa do fenômeno elétrico e magnético*".[6] Depois de refletir durante milênios acerca da natureza da luz, os cientistas enfim entenderam seus segredos mais profundos. Ao contrário das forças de Newton, que eram instantâneas, esses campos deslocavam-se a uma velocidade definida: a velocidade da luz.

O trabalho de Maxwell foi codificado em oito equações diferenciais parciais diferentes (conhecidas como as "equações de Maxwell"), que todo engenheiro elétrico e físico vem tendo que memorizar no último século e meio. (Atualmente, existe até uma camiseta contendo as oito equações em toda a sua glória. Antes das equações vêm os dizeres bíblicos: "No princípio, disse Deus...", e depois delas se lê: "... e houve luz".)

No final do século XIX, tamanhos foram os sucessos experimentais de Newton e Maxwell que alguns físicos presumiram com segurança que esses dois grandes pilares da ciência haviam respondido a todas as questões básicas sobre o universo. Quando Max Planck (fundador da teoria quântica) consultou seu orientador sobre a intenção de se tornar físico, recebeu o conselho de mudar de campo, porque a física estava basicamente concluída. Não faltava mesmo nada de novo para descobrir, disseram-lhe. Esses pensamentos foram repetidos pelo grande físico do século XIX lorde Kelvin, que afirmou que a física podia ser considerada completa, a não ser por algumas "nuvens" menores no horizonte que permaneciam inexplicadas.

Mas as deficiências do mundo newtoniano tornavam-se mais e mais evidentes a cada ano. Descobertas como o isolamento do rádio e da radioatividade por Marie Curie vinham abalando o mundo da ciência e empolgando a imaginação do público. Mesmo poucos gramas dessa substância rara e luminosa conseguiam, de algum modo, iluminar um aposento escuro. Ela também mostrou que quantidades aparentemente ilimitadas de energia poderiam advir de uma fonte desconhecida bem no interior do átomo, desafiando a lei da conservação da energia, que afirma que energia não pode ser criada nem destruída. Essas pequenas "nuvens", porém, logo gerariam as duas revoluções gêmeas do século XX: a relatividade e a teoria quântica.

O que mais incomodava, no entanto, era o fracasso de todas as tentativas de combinar a

mecânica de Newton com a teoria de Maxwell. A teoria de Maxwell confirmava o fato de que a luz era uma onda, mas deixava em aberto a pergunta: o que está ondulando? Os cientistas sabiam que a luz pode deslocar-se em um vácuo (na verdade, percorrendo milhões de anos-luz de estrelas distantes através do vácuo do espaço), mas, como um vácuo por definição é "nada", restava o paradoxo de que nada estava ondulando!

Os físicos newtonianos tentaram responder a esta pergunta postulando que a luz consistia em ondas vibrando em um "éter" invisível, um gás estacionário que preenchia o universo. Supunha-se que o éter constituísse o referencial absoluto, em relação ao qual todas as velocidades podiam ser medidas. Um cético poderia alegar que, como a Terra se movia ao redor do Sol, e o Sol se movia pela galáxia, não era possível saber qual deles estava realmente se movendo. Os físicos newtonianos respondiam a isto afirmando que o sistema solar estava se movendo em relação ao éter estacionário. Portanto, era possível determinar qual corpo estava de fato se movendo.

No entanto, o éter começou a assumir propriedades cada vez mais mágicas e estranhas. Por exemplo, os físicos sabiam que as ondas se deslocam mais rápido em um meio mais denso. Desse modo, as vibrações do som conseguem deslocar-se com mais rapidez na água do que no ar. Ora, como a luz se deslocava a uma velocidade fantástica (quase 300 mil quilômetros por segundo), o éter deveria ser incrivelmente denso para transmitir luz. Mas não se supunha que o éter fosse mais leve que o ar? Com o tempo, o éter tornou-se quase uma substância mística: completamente estacionário, sem peso, invisível, com viscosidade zero, contudo mais forte que o aço e indetectável por qualquer instrumento.

Em 1900, as deficiências da mecânica newtoniana tornavam-se cada vez mais difíceis de explicar. O mundo estava pronto para uma revolução, mas quem a encabeçaria? Conquanto outros físicos se dessem conta das lacunas da teoria do éter, tentavam transpô-las timidamente num contexto newtoniano. Einstein, que não tinha nada a perder, conseguiu atingir o cerne do problema: *as forças de Newton e os campos de Maxwell eram incompatíveis. Um dos dois pilares da ciência precisaria ruir.* Quando um destes pilares enfim veio a ruir, subverteria mais de duzentos anos de física e revolucionaria a forma como vemos o universo e a própria realidade. A física newtoniana seria demolida por Einstein com uma imagem que até uma criança conseguia entender.

CAPÍTULO 2
OS ANOS INICIAIS

O homem que reformularia para sempre nosso conceito do universo nasceu em 14 de março de 1879, na pequena cidade de Ulm, Alemanha. Hermann e Pauline Koch Einstein ficaram preocupados com a malformação da cabeça do filho, rezando para que ele não tivesse nenhum problema mental.

Os pais de Einstein eram judeus secularizados de classe média, batalhando para sustentar a família crescente. Pauline era filha de um homem relativamente rico: seu pai, Julius Derzbacher (que mudou o sobrenome para Koch), acumulou fortuna abandonando o emprego de padeiro e ingressando no ramo dos cereais. Pauline era a intelectual da família Einstein, fazendo questão de que seus filhos estudassem música e iniciando o jovem Albert em sua eterna relação de amor com o violino. Hermann Einstein, ao contrário do sogro, teve uma carreira empresarial medíocre, começando no negócio de colchões de penas. Seu irmão Jakob convenceu-o a mudar para a nova indústria eletroquímica. As invenções de Faraday, Maxwell e Thomas Edison, que exploravam o poder da eletricidade, estavam agora iluminando cidades ao redor do mundo, e Hermann anteviu um futuro brilhante produzindo dínamos e iluminação elétrica. O negócio se mostraria precário, porém, levando a crises financeiras e falências periódicas e forçando a família a mudar-se várias vezes durante a infância de Albert, inclusive para Munique, um ano após seu nascimento.

O jovem Einstein custou tanto a aprender a falar que seus pais temeram que pudesse ter algum retardo mental. Mas, quando enfim começou, proferia frases completas. No entanto, mesmo aos nove anos, ainda não se expressava muito bem. Albert teve uma única irmã, Maja, dois anos mais nova, e nenhum irmão. (De início, o menino Albert ficou intrigado com a nova presença em casa. Uma de suas primeiras frases foi: "Mas onde estão as rodas?".) Ser irmã caçula de Albert não era brincadeira, já que ele tinha a mania desagradável de atirar objetos na cabeça dela. Ela lamentaria mais tarde: "Para ser irmã de um pensador é preciso uma boa cabeça".[1]

Ao contrário da lenda, Einstein foi bom aluno na escola, mas somente nas áreas que lhe interessavam, como matemática e ciências. O sistema escolar alemão encorajava os alunos a dar respostas curtas baseadas na decoreba — senão eram punidos com tapas dolorosos nos nós dos dedos. O jovem Albert, porém, falava devagar, hesitantemente, escolhendo com cuidado as palavras. Estava longe de ser o aluno perfeito, aborrecendo-se sob um sistema sufocante e autoritário que esmagava a criatividade e a imaginação, substituindo-as por rotinas

embotadoras da mente. Quando seu pai indagou ao diretor qual profissão o jovem Albert deveria seguir, ele respondeu: "Não faz diferença; ele nunca terá sucesso em nada".[2]

A conduta de Einstein definiu-se cedo. Ele era sonhador, amiúde perdido nos pensamentos ou na leitura. Seus colegas de turma costumavam zombar dele apelidando-o de *Biedermeier*, que corresponde mais ou menos ao atual *nerd*. Um amigo recordaria: "Os colegas consideravam Albert um esquisitão por não curtir esportes. Os professores o achavam meio tapado, pela dificuldade na decoreba e pela conduta estranha".[3] Aos dez anos, Albert ingressou no Luitpold Gymnasium, em Munique, onde seu pior martírio foi ter que aprender grego clássico. Sentado na carteira, sorria inexpressivamente para disfarçar a monotonia. A certa altura, seu professor de grego da sétima série, Herr Joseph Degenhart, disse na cara de Albert que seria melhor que ele simplesmente não estivesse ali. Quando Einstein protestou que não fizera nada de errado, o mestre replicou com aspereza: "Sim, é verdade. Mas você fica aí na última fila sorrindo, perturbando o clima de respeito que a turma deve mostrar ao professor".[4]

Mesmo décadas depois, Einstein se referiria amargamente às marcas deixadas pelos métodos autoritários da época: "É quase um milagre que os métodos de ensino atuais não tenham sufocado por completo a sagrada curiosidade de pesquisar; pois essa planta pequena e delicada, além de estímulos, necessita sobretudo de liberdade".[5]

O interesse de Einstein por ciência começou cedo, a partir de seu encontro com o magnetismo, que ele chamou de seu "primeiro milagre". Ele ganhou uma bússola do pai e ficou fascinado com o fato de que forças invisíveis conseguiam fazer objetos se moverem. Ele recordou com afeição:

> Um assombro de tal natureza experimentei na infância, aos quatro ou cinco anos, quando meu pai me mostrou uma agulha de bússola. Ainda consigo lembrar que essa experiência deixou em mim uma impressão forte e duradoura. Algo profundamente oculto tinha que estar por detrás das coisas.[6]

Mais ou menos aos onze anos, sua vida tomou um rumo inesperado: ele se tornou religioso ao extremo. Um parente distante vinha à sua casa ensinar a Albert a religião judaica, e ele se agarrou a ela com um entusiasmo surpreendente, quase fanático. Recusou-se a comer carne de porco e chegou a compor vários hinos de louvor a Deus, que cantava a caminho do colégio. Esse período de fervor religioso intenso teve vida breve. Quanto mais mergulhava na tradição e doutrina religiosa, mais percebia que os mundos da ciência e da religião colidiam, muitos dos milagres narrados nos textos religiosos violando as leis da ciência. "Pela leitura de livros populares, logo cheguei à convicção de que muita coisa nos relatos bíblicos não podia ser verdade",[7] concluiu.

Ele abandonou a religião tão abruptamente quanto a havia adotado. Sua fase religiosa, porém, teria um efeito profundo sobre seus pontos de vista posteriores. Sua reversão representou a primeira rejeição da autoridade irracional, um dos marcos de sua personalidade por toda a vida. Nunca mais Einstein aceitaria cegamente ilusões autoritárias como a palavra final. Embora concluísse pela impossibilidade de conciliar a tradição religiosa da Bíblia com a ciência, ele também percebeu que o universo continha domínios inteiros que estavam além do

alcance da ciência, e que devíamos reconhecer as limitações da ciência e do pensamento humano.

Seu interesse precoce por bússolas, ciência e religião, porém, poderia ter desaparecido se o jovem Albert não achasse um preceptor dedicado para abrir-lhe a mente. Em 1889, um estudante de medicina polonês pobre chamado Max Talmud estava estudando em Munique e jantava toda semana na casa da família Einstein. Foi Talmud quem introduziu Einstein às maravilhas da ciência, para além da decoreba insossa das aulas. Anos depois, Talmud viria a escrever afetuosamente:

> Em todos aqueles anos, nunca o vi lendo nenhuma literatura leve. Tampouco o vi em companhia de colegas da escola ou de outros meninos da mesma idade. Sua única diversão era a música. Ele já tocava sonatas de Mozart e Beethoven, acompanhado da mãe.[8]

Talmud presenteou Einstein com um livro de geometria, que ele devorou noite e dia. Einstein chamou isto de seu "segundo milagre". Ele escreveria: "Aos doze anos, experimentei um segundo assombro de natureza totalmente diferente: num pequeno livro com a geometria plana euclidiana".[9] Ele o chamou de "livro de geometria sagrado", que tratou como sua nova Bíblia.

Enfim Einstein travava conhecimento com o domínio do pensamento puro. Sem laboratórios ou equipamentos caros, ele podia explorar a verdade universal, limitado apenas pelo poder da mente humana. A matemática, observou a irmã Maja, tornou-se uma fonte incessante de prazer para Albert, especialmente quando enigmas e mistérios intrigantes estavam envolvidos. Gabava-se, para a irmã, de ter achado uma prova independente do teorema de Pitágoras sobre os triângulos retângulos.

As leituras matemáticas de Einstein não ficaram por aí. Ele acabou estudando sozinho o cálculo infinitesimal, surpreendendo o preceptor. Talmud admitiria: "Logo o vôo de sua genialidade matemática era tão alto que não consegui mais acompanhar. Dali para a frente, a filosofia virou tema constante de nossas conversas. Recomendei a leitura de Kant".[10] A apresentação do jovem Albert ao mundo de Immanuel Kant e sua *Crítica da razão pura* nutriu o interesse vitalício de Einstein por filosofia. Ele começou a refletir sobre as questões eternas com que se deparam todos os filósofos, tais como a origem da ética, a existência de Deus e a natureza das guerras. Kant, em particular, sustentava visões nada ortodoxas, chegando a lançar dúvidas sobre a existência de Deus. Ele ridicularizou o mundo pomposo da filosofia clássica, onde "costuma haver muita retórica oca". (Ou, como disse certa vez o orador Cícero: "Não há nada tão absurdo que não tenha sido dito por algum filósofo".) Kant também escreveu que o governo mundial era a maneira de acabar com as guerras, posição que Einstein defenderia pelo resto da vida. A certa altura, Einstein entusiasmou-se tanto com as reflexões de Kant que chegou a cogitar em se tornar filósofo. Seu pai, que queria uma profissão mais prática para o filho, rejeitou a idéia como uma "bobagem filosófica".[11]

Felizmente, graças ao negócio do pai no ramo eletroquímico, não faltavam dínamos, motores e engenhocas elétricas espalhadas pela fábrica para alimentar a curiosidade de Albert e

estimular-lhe o interesse por ciência. (Hermann Einstein, junto com o irmão Jakob, batalhava para obter contrato para um projeto ambicioso: a eletrificação do centro da cidade de Munique. Hermann sonhava estar na dianteira desse empreendimento histórico. O projeto representaria a estabilidade financeira e uma grande expansão de sua fábrica de produtos elétricos.)

Estar cercado de enormes aparelhos eletromagnéticos sem dúvida despertou em Albert uma compreensão intuitiva da eletricidade e magnetismo. É bem provável que isso tenha apurado sua notável capacidade de desenvolver idéias físicas claras que iriam descrever as leis da natureza com precisão incomum. Enquanto outros cientistas muitas vezes enterravam a cabeça em matemática obscura, Einstein via as leis da física com a clareza de imagens simples. Talvez essa capacidade aguçada remonte a esse período feliz, em que ele podia simplesmente observar os dispositivos em torno da fábrica do pai e refletir sobre as leis da eletricidade e magnetismo. Esse traço, a capacidade de ver tudo em termos de idéias físicas, representaria uma das grandes características de Einstein como físico.

Aos quinze anos, a educação de Einstein foi prejudicada pelos problemas financeiros periódicos da família. Hermann, excessivamente generoso, vivia ajudando quem estava em apuros financeiros. Ele não era frio e calculista como a maioria dos homens de negócios de sucesso. (Albert herdaria esse mesmo espírito generoso.) Sua empresa, não conseguindo fechar o contrato para iluminar Munique, foi à falência. A família rica de Pauline, agora vivendo em Gênova, Itália, resolveu ajudar Hermann financiando uma nova empresa. Mas havia uma condição. Ele teria que se mudar com a família para a Itália. Assim, seu excesso de generosidade ficaria sob controle. A família mudou-se para Milão, perto de uma nova fábrica em Pavia. Não querendo mais interromper a educação do filho, Hermann deixou Albert com parentes afastados em Munique.

Totalmente sozinho, Albert sentia-se infeliz, prisioneiro de um internato que odiava e arriscando-se a ter que servir o temido exército prussiano. Seus professores não gostavam dele, e a recíproca era verdadeira. Ao que tudo indica, estava prestes a ser expulso da escola. Impulsivamente, Einstein decidiu juntar-se aos parentes. Conseguiu com o médico da família um atestado que o dispensava da escola, afirmando que ele poderia sofrer um colapso nervoso se não voltasse para junto dos seus. Ele então fez sozinho a viagem à Itália, aparecendo de surpresa na soleira da casa dos pais.

Hermann e Pauline ficaram perplexos, sem saber que rumo dar à vida do filho, um fugitivo da escola, que queria escapar do serviço militar, sem habilidades, sem profissão e sem futuro. Albert envolvia-se em longas discussões com o pai, que queria que ele seguisse uma profissão prática, como engenharia elétrica, enquanto Albert falava em ser filósofo. Eles acabaram entrando num acordo, e Albert concordou em ingressar no famoso Instituto Politécnico de Zurique, na Suíça, embora fosse dois anos mais novo que a maioria dos alunos que estava fazendo a prova de seleção. A vantagem era que a Politécnica não exigia diploma de nível secundário. Bastava ser aprovado na difícil prova de seleção.

Infelizmente, Einstein não passou na prova. Foi reprovado em francês, química e biologia, mas teve desempenho tão bom em matemática e física que impressionou o diretor Albin

Herzog. Este prometeu admiti-lo no ano seguinte, sem que Albert precisasse repetir o temido exame. O chefe do departamento de física Heinrich Weber chegou a convidar Einstein para assistir às suas aulas como ouvinte quando estivesse em Zurique. Herzog recomendou que Einstein passasse o resto do ano letivo freqüentando uma escola secundária em Aarau, a apenas trinta minutos de Zurique. Ali, ele alugou um quarto na casa do diretor da escola Jost Winteler, iniciando uma amizade de vida inteira entre a família Einstein e os Winteler. (Maja se casaria com o filho de Winteler, Paul, e o amigo de Einstein, Michele Besso, se casaria com a filha mais velha, Anna.)

Einstein gostou da atmosfera descontraída e liberal da escola. Ali se sentiu livre das regras opressivas e autoritárias do sistema alemão. Gostava da generosidade dos suíços, que cultivavam a tolerância e a independência de espírito. Einstein recordaria afetuosamente: "Adoro os suíços porque, na maioria, são mais humanos que os outros povos com quem convivi".[12] Diante das péssimas lembranças dos anos nas escolas alemãs, decidiu também renunciar à cidadania alemã, uma ação surpreendente para um mero adolescente. Ele permaneceria apátrida por cinco anos (até enfim tornar-se cidadão suíço).

Ao se desenvolver nessa atmosfera mais livre, Albert começou a se livrar da imagem de um solitário acanhado, nervoso e reservado, para se tornar sociável e gregário, uma pessoa acessível e que fazia amigos fiéis. Maja, em particular, passou a notar uma nova mudança no irmão mais velho, à medida que este se convertia num pensador maduro e independente. A personalidade de Einstein passaria por várias fases distintas no decorrer da vida, a primeira sendo a fase livresca, retraída, introvertida. Na Itália e especialmente na Suíça, ele ingressava numa segunda fase: uma espécie de boêmio atrevido, convencido, seguro de si, sempre cheio de ditos espirituosos. Ele divertia as pessoas com seus trocadilhos. Nada lhe agradava mais do que contar uma piada bobinha que fizesse os amigos morrerem de rir.

Alguns o chamavam de "suábio insolente". Um colega de escola, Hans Byland, captou a personalidade emergente de Einstein:

> Quem se aproximasse dele ficava cativado por sua personalidade elevada. Um traço de zombaria em torno da boca carnuda de lábio inferior protuberante não encorajava o filisteu a meter-se com ele. Livre das restrições convencionais, confrontava o espírito do mundo como um filósofo risonho, e seu sarcasmo implacável castigava sem dó toda vaidade e artificialidade.[13]

Segundo todos os testemunhos, esse "filósofo risonho" também estava se tornando popular entre as moças. Era um paquerador metido a engraçado, e as moças o achavam sensível, simpático e bom confidente. Uma amiga pedia conselhos sobre o relacionamento com o namorado. Outra pedia que assinasse seu caderno de autógrafos, no qual ele escreveu uns versinhos burlescos. O fato de tocar violino também o tornava querido, fazendo com que fosse convidado para jantares festivos. Cartas da época mostram que ele era popular com grupos musicais femininos que precisavam de cordas para acompanhar o piano. "Muitas moças ou mulheres mais velhas ficavam encantadas não apenas com seu desempenho ao violino, mas também com sua aparência, que sugeria um virtuose latino passional, e não um frio estudante

de ciências", escreveu o biógrafo Albrecht Folsing.[14]

Uma garota em particular atraiu sua atenção. Com apenas dezesseis anos, Einstein apaixonou-se perdidamente por uma das filhas de Jost Winteler, Marie, que era dois anos mais velha que ele. (Na verdade, as mulheres mais importantes de sua vida seriam mais velhas que ele, tendência também compartilhada por seus dois filhos.) Gentil, sensível e talentosa, Marie queria seguir a profissão do pai e tornar-se professora. Albert e Marie faziam longos passeios juntos, muitas vezes para observar os pássaros, o passatempo favorito da família Winteler. Ele também a acompanhava ao violino, enquanto ela tocava piano.

Albert confessou-lhe seu verdadeiro amor:

> Amor do meu coração. [...] Tive agora que aprender, meu anjo, o pleno sentido de nostalgia e saudade. Mas a felicidade do amor supera a dor da saudade. Só agora percebo como meu querido raio de sol se tornou indispensável para a minha felicidade.[15]

Marie retribuiu o afeto de Albert e chegou a escrever para a mãe de Einstein, que respondeu em tom aprovador. As famílias Winteler e Einstein, na verdade, esperavam de certa forma um anúncio de casamento dos dois pombinhos. Marie, porém, sentia-se um tanto incompetente ao falar de ciência com o amado, e achou que isso poderia tornar-se um problema num relacionamento com um namorado tão brilhante e concentrado. Percebeu que teria de competir pelo afeto de Einstein com o verdadeiro amor dele: a física.

Nem só o afeto crescente por Marie consumia as atenções de Einstein, mas também um fascínio pelos mistérios da luz e eletricidade. No verão de 1895, escreveu um ensaio independente sobre a luz e o éter intitulado "Uma investigação do estado do éter em um campo magnético", que enviou ao tio preferido, Caesar Koch, na Bélgica. Com apenas cinco páginas, foi o primeiro artigo científico de sua vida, argumentando que a força misteriosa chamada magnetismo, que o fascinara quando criança, podia ser vista como algum tipo de perturbação no éter. Anos antes, Talmud introduzira Einstein à obra de Aaron Bernstein, os *Livros populares sobre ciência natural*. Einstein escreveria que foi "uma obra que li com uma atenção de tirar o fôlego".[16] O livro exerceria um impacto decisivo sobre ele, porque o autor incluía uma discussão sobre os mistérios da eletricidade. Bernstein convidava o leitor a fazer uma viagem fantástica no interior do fio de telégrafo, acompanhando um sinal elétrico a velocidades vertiginosas.

Aos dezesseis anos, um devaneio de Einstein o levou a um insight que mais tarde mudaria o rumo da história humana. Talvez lembrando a viagem fantástica no livro de Bernstein, Einstein imaginou-se correndo ao lado de um raio de luz e fez uma pergunta decisiva: qual seria o aspecto do raio de luz? Assim como Newton imaginou que atirava uma pedra até que esta entrasse em órbita ao redor da Terra, à semelhança da Lua, também a tentativa de Einstein de imaginar o raio de luz renderia resultados profundos e surpreendentes.

No mundo newtoniano, avançando com rapidez suficiente, é possível alcançar qualquer coisa. Um carro veloz, por exemplo, pode alcançar um trem. Se olharmos para dentro do vagão, veremos os passageiros lendo jornal e tomando café como se estivessem sentados em

casa na sala de estar. Embora estejam avançando em alta velocidade, parecem perfeitamente parados quando o carro está na mesma velocidade que o trem.

De forma semelhante, imagine um carro da polícia perseguindo um motorista infrator. Quando o carro da polícia consegue emparelhar com o do infrator, o policial acena para o ocupante, mandando-o parar junto ao meio-fio. Para o policial, o motorista do carro parece em repouso, embora tanto o policial quanto o infrator estejam a mais de 150 quilômetros por hora.

Os físicos sabiam que a luz consistia em ondas. Desse modo, Einstein raciocinou que, se conseguíssemos emparelhar com um raio de luz, este deveria ficar em perfeito repouso. Isto significa que o raio de luz, visto pelo corredor, pareceria uma onda congelada, um instantâneo de uma onda. Ela não oscilaria no tempo. Para o jovem Einstein, porém, isso não fazia o menor sentido. Ninguém jamais havia visto uma onda congelada. Não havia descrição de nada parecido na literatura científica. A luz, para Einstein, era especial. Não era possível alcançar um raio luminoso. Luz congelada não existia.

Ele não entendeu aquilo nessa época, mas por acaso chegou a uma das maiores observações científicas do século, que teve como resultado o princípio da relatividade. Mais tarde, escreveria que

> tal princípio resultou de um paradoxo com que eu já deparara aos dezesseis anos: se eu perseguir um raio de luz à velocidade *c* (velocidade da luz no vácuo), deveria observar tal raio de luz em repouso. Porém tal coisa parece não existir, seja com base na experiência ou de acordo com as equações de Maxwell.[17]

Foi exatamente sua capacidade de isolar os princípios-chave subjacentes a quaisquer fenômenos e concentrar-se na imagem essencial que levou Einstein ao limiar de uma revolução científica. Ao contrário de cientistas menores, que costumavam se perder na matemática, Einstein pensava imagens físicas simples — trens em alta velocidade, elevadores em queda, foguetes e relógios em movimento. Essas imagens mentais o conduziriam, de forma infalível, às maiores idéias do século xx. Ele escreveu: "Todas as teorias físicas, apesar de sua expressão matemática, deveriam se prestar a uma descrição tão simples que até uma criança pudesse entender".[18]

No outono de 1895, Einstein enfim ingressou na Politécnica e começou uma fase totalmente nova em sua vida. Pela primeira vez, pensou, estaria exposto aos mais recentes avanços em física, que vinham sendo debatidos em todos os cantos do continente. Ele sabia que ventos revolucionários vinham soprando no mundo da física. Dezenas de experimentos estavam sendo realizados, aparentemente desafiando as leis de Isaac Newton e a física clássica.

Na Politécnica, Einstein queria aprender teorias novas sobre a luz, sobretudo as equações de Maxwell, que, conforme escreveria mais tarde, foram a "matéria mais fascinante do meu tempo de estudante".[19] Ao conhecer enfim as equações de Maxwell, Einstein pôde responder à pergunta que não lhe saía da cabeça. Confirmando suas suspeitas, ele constatou que não havia soluções para as equações de Maxwell em que a luz se congelasse no tempo. Mas descobriu mais. Para sua surpresa, comprovou que, na teoria de Maxwell, os raios de luz se deslocavam sempre à mesma velocidade, por mais rápido que alguém se movesse. Aqui estava, enfim, a

resposta ao enigma: *jamais se conseguiria alcançar um raio de luz porque ele sempre se afastava à mesma velocidade*. Isso, por sua vez, violava tudo que o senso comum dizia sobre o mundo. Einstein levaria mais alguns anos para decifrar os paradoxos daquela observação-chave: a luz sempre se desloca à mesma velocidade.

Essas épocas revolucionárias exigiam novas teorias revolucionárias, bem como líderes novos e ousados. Infelizmente, Einstein não encontrou esses líderes na Politécnica. Seus professores preferiam concentrar-se na física clássica, levando-o a matar aulas e a passar a maior parte do tempo no laboratório ou estudando sozinho as novas teorias. Eles viam essas ausências constantes da sala de aula como preguiça crônica; de novo, os professores de Einstein o subestimaram.

Entre os docentes da Politécnica estava o professor de física Heinrich Weber, o mesmo que se impressionara com Einstein e o deixara assistir às suas aulas como ouvinte mesmo depois de reprovado no exame de admissão. Ele até prometeu a Einstein um emprego de assistente após a graduação. Com o tempo, porém, Weber passou a se ressentir com a impaciência de Einstein e seu desprezo pela autoridade. Acabou retirando o apoio a Einstein, dizendo: "Você é um rapaz inteligente, Einstein, um rapaz muito inteligente. Mas tem um grande defeito: não ouve o que os outros dizem".[20] O instrutor de física Jean Pernet tampouco estava satisfeito com Einstein. Certa vez, sentiu-se insultado quando Einstein jogou no lixo o manual de uma aula de laboratório sem nem sequer consultá-lo. Mas o assistente de Pernet defendeu Einstein, afirmando que, apesar de heterodoxas, as soluções dele estavam sempre certas. Pernet mesmo assim enfrentou Einstein: "Você tem entusiasmo, mas não tem talento em física. Para o seu bem, deveria fazer outra coisa, medicina talvez, literatura ou direito".[21] Certa ocasião, por ter rasgado as instruções de laboratório, Einstein acabou provocando uma explosão que lhe feriu gravemente a mão direita, e precisou levar pontos para fechar o ferimento. Suas relações com Pernet haviam degenerado a tal ponto que ele lhe deu "1" em sua matéria, a pior nota possível. O professor de matemática Hermann Minkowski chegou a chamar Einstein de "cão preguiçoso".

Contrastando com o desdém dos professores, os amigos que Einstein fez em Zurique lhe permaneceriam fiéis a vida toda. Havia apenas cinco alunos na turma de física daquele ano, e ele ficou amigo de todos. Um deles era Marcel Grossman, estudante da matemática que anotava minuciosamente todas as aulas. Suas anotações eram tão completas que Einstein com freqüência as pedia emprestado, em vez de ir à aula, e muitas vezes conseguia notas melhores que as do próprio Grossman. (Até hoje essas anotações estão preservadas na universidade.) Grossman confidenciou à mãe do amigo que "algo de grandioso" aconteceria um dia com Einstein.[22]

Mas quem atraiu a atenção de Einstein foi uma outra colega de turma, Mileva Maric, nascida na Sérvia. Era raro encontrar um aluno de física dos Bálcãs, e ainda mais raro encontrar uma mulher. Mileva era uma pessoa admirável, que decidiu ir à Suíça por ser o único país de língua alemã a admitir mulheres nas universidades. Foi a quinta mulher a ser aceita no curso de física da Politécnica. Einstein havia encontrado seu par perfeito, uma mulher capaz de falar a mesma língua que seu primeiro amor. Achou-a irresistível e logo rompeu o relacionamento com Marie

Winteler. Ele sonhava tornar-se professor de física com Mileva e juntos fazerem grandes descobertas. Logo estavam perdidamente apaixonados. Quando se separavam durante as férias, trocavam longas e calorosas cartas de amor, chamando um ao outro de uma série de apelidos carinhosos, como Johnny e Dollie. Einstein escrevia-lhe poemas e declarações: "Posso ir aonde quiser — mas não me sinto em casa, e sinto falta de seus dois bracinhos e da boca ardente, cheia de ternura e beijos".[23] Einstein e Mileva trocaram mais de 430 cartas, preservadas por um dos filhos do casal. (Ironicamente, embora vivessem quase na pobreza, com cobradores no encalço, algumas dessas cartas arrecadaram, há pouco tempo, 400 mil dólares num leilão.)

Os amigos de Einstein não conseguiam entender o que ele via de especial em Mileva. Enquanto Einstein era sociável, com um senso de humor ágil, Mileva, quatro anos mais velha, era bem mais sombria. Era instável, muito reservada e desconfiava de todos. Mancava visivelmente ao andar, devido a um problema congênito (uma perna mais curta que a outra), o que a afastava ainda mais dos outros. Os amigos comentavam pelas costas o comportamento anormal da irmã de Mileva, Zorka, que agia de modo estranho e acabaria internada como esquizofrênica. O mais grave, no entanto, era sua discutível posição social. Se os suíços às vezes viam com desprezo os judeus, estes por sua vez costumavam desprezar os europeus do Sul, principalmente dos Bálcãs.

Mileva não se iludia quanto a Einstein. O brilho dele era lendário, bem como sua irreverência em relação às autoridades. Ela sabia que ele havia renunciado à cidadania alemã e que tinha pontos de vista impopulares sobre a guerra e a paz. Ela escreveria: "Meu amorzinho tem uma língua muito ferina e ainda por cima é judeu".[24]

O envolvimento crescente de Einstein com Mileva, porém, estava criando um abismo entre ele e os pais. Sua mãe, que vira com bons olhos o relacionamento com Marie, tinha horror a Mileva, considerando-a inferior a Albert e alguém que arruinaria o filho e a reputação da família. Ela era, em poucas palavras, velha demais, doente demais, pouco feminina demais, sombria demais e sérvia demais. "Essa tal de senhorita Maric está me trazendo os momentos mais amargos de minha vida", confidenciou a uma amiga.[25] "Se tivesse esse poder, eu faria todo o possível para bani-la de nosso horizonte. Realmente a detesto. Mas perdi toda a influência sobre Albert." Ela advertia: "Quando você chegar aos trinta anos, ela será uma bruxa velha".[26]

Mas Einstein estava determinado a cortejar Mileva, ainda que isso acarretasse uma ruptura profunda com sua família tão unida. Certa vez, ao visitar o filho, a mãe de Einstein perguntou: "O que será dela?".[27] Quando ele respondeu "minha esposa", ela se jogou de repente na cama, soluçando de forma incontrolável. A mãe o acusou de destruir o próprio futuro por uma mulher "que não pode ser aceita numa boa família".[28] No final, diante da oposição acirrada dos pais, Einstein teve que adiar quaisquer planos de casamento com Mileva até terminar os estudos e conseguir um emprego bem remunerado.

Em 1900, quando ele enfim se graduou pela Politécnica com especialização em física e matemática, a sorte o abandonou. Esperava-se que obtivesse um cargo de assistente. Essa era a regra, especialmente porque ele passara em todos os exames e exibira um bom desempenho. Mas como o professor Weber havia retirado a oferta de emprego, Einstein foi o único da turma

a ficar sem o cargo — um deliberado tapa na cara. Antes tão convencido, ele de repente se viu em circunstâncias incertas, especialmente porque o apoio financeiro de uma tia abastada de Gênova foi cancelado com a graduação.

Sem se dar conta da intensidade da aversão de Weber, Einstein cometeu a tolice de indicá-lo como referência, não percebendo que isso sabotaria ainda mais seu futuro. Relutantemente, começou a notar que esse erro poderia arruinar sua carreira antes que ela começasse. Ele lamentaria amargurado:

> Eu teria encontrado [um emprego] há muito tempo se Weber não tivesse travado um jogo sujo contra mim. Mesmo assim, tentarei por todos os meios e não abrirei mão do meu senso de humor. [...] Deus criou a mula e deu-lhe um couro espesso.[29]

Nesse ínterim, Einstein também requereu a cidadania suíça, mas era impossível obtê-la até que pudesse provar que estava empregado. Seu mundo estava desmoronando rapidamente. A idéia de tocar violino na rua como mendigo chegou a passar por sua cabeça.

Quando se deu conta dos problemas de Einstein, o pai escreveu uma carta ao professor Wilhelm Ostwald, de Leipzig, solicitando um cargo de assistente para o filho. (Ostwald nem chegou a responder à carta. Por ironia, uma década depois, Ostwald seria a primeira pessoa a indicar Einstein para o prêmio Nobel de Física.) Einstein se dava conta de como o mundo subitamente se tornara injusto: "Pela mera existência do estômago, todo mundo está condenado a participar dessa caça".[30] Ele escreveu com tristeza: "Não passo de um fardo para os meus pais. Seria sem dúvida melhor se eu não vivesse".[31]

Para piorar as coisas, bem naquela época o negócio do pai voltou a falir. Na verdade, o pai dissipara toda a herança da esposa e estava cheio de dívidas com a família dela. Sem apoio financeiro, não restou a Einstein outra saída senão procurar um emprego qualquer de professor. Desesperado, começou a folhear os jornais em busca de trabalho. A certa altura, quase perdeu a esperança de tornar-se físico e pensou seriamente em trabalhar para uma companhia de seguros.

Em 1901, conseguiu um emprego de professor de matemática na Escola Técnica Winterthur. De algum modo, entre as tarefas cansativas do magistério, arrumou tempo para escrever seu primeiro artigo publicado, "Deduções dos fenômenos da capilaridade", que ele próprio percebeu não ser lá grande coisa. No ano seguinte, aceitou um cargo temporário de professor no internato de Schaffhausen. Como de hábito, não se entendeu com o diretor autoritário da escola, Jakob Nuesch, e foi sumariamente demitido. (O diretor ficou tão enfurecido que chegou a acusá-lo de fomentar uma revolução.)

Einstein estava começando a achar que passaria o resto da vida tendo que se humilhar para sobreviver, lecionando para alunos indiferentes e folheando os classificados nos jornais. Seu amigo Friedrich Adler recordaria que, naquela época, Albert quase chegou a passar fome. Era um zero à esquerda. Mesmo assim, recusou-se a pedir ajuda financeira à família. Depois enfrentou dois outros reveses. Primeiro, Mileva foi reprovada pela segunda vez nos exames finais da Politécnica. Isso significava que sua carreira como física estava praticamente

encerrada. Com seu histórico sofrível, jamais seria aceita em uma universidade. Desanimada, ela perdeu o interesse pela física. Os sonhos românticos de explorarem o universo juntos caíram por terra. Foi então, em novembro de 1901, quando Mileva visitava a família, que ele recebeu uma carta dela contando que estava grávida!

Einstein, apesar da falta de perspectivas, empolgou-se com a possibilidade de ser pai. Estar separado de Mileva era uma tortura, e eles trocavam cartas de modo frenético, quase todo dia. A 4 de fevereiro de 1902, ele descobriu que era pai de uma menina, nascida na casa dos pais de Mileva, em Novi Sad, e batizada com o nome de Lieserl. Entusiasmado, Einstein queria saber tudo sobre ela. Chegou a implorar que Mileva enviasse uma foto ou um desenho. Misteriosamente, ninguém sabe ao certo o que aconteceu com a criança. A última menção a ela foi numa carta de setembro de 1903, que dizia que estava sofrendo de escarlatina. Os historiadores acreditam que o bebê tenha morrido da doença ou sido entregue para adoção.

Quando parecia estar quase no fundo do poço, Einstein recebeu notícias de uma fonte inesperada. Seu bom amigo Marcel Grossman obtivera para ele um emprego de funcionário público no Escritório de Patentes de Berna. Naquele cargo subalterno, ele mudaria o mundo. (Para manter vivo o sonho enfraquecido de um dia tornar-se professor universitário, persuadiu Alfred Kleiner, do quadro docente da Universidade de Zurique, a ser seu orientador de doutorado durante aquele período.)

Em 23 de junho de 1902 Einstein começou a trabalhar no escritório de patentes como perito técnico de terceira classe, com um salário modesto. A um olhar retrospectivo, trabalhar naquela repartição teve pelo menos três vantagens ocultas. Para começar, o emprego forçava-o a procurar os princípios físicos básicos subjacentes a qualquer invenção. Durante o dia, ele burilava seu enorme dom para a física removendo os detalhes desnecessários e isolando o ingrediente essencial de cada patente e, depois, redigindo um relatório. Seus relatórios eram tão detalhados e analíticos que ele escreveu aos amigos que estava ganhando a vida "urinando tinta".[32] Além disso, muitos dos pedidos de patente envolviam dispositivos eletromecânicos, e sua ampla experiência visualizando o funcionamento interno dos dínamos e motores elétricos da fábrica do pai foi de grande ajuda. Para completar, o emprego libertou-o de distrações, dando-lhe tempo para pensar em questões profundas sobre a luz e o movimento. Com freqüência, ele se livrava rapidamente dos afazeres de sua atividade e fazia sobrar bastante tempo para se entregar aos devaneios que o acompanhavam desde a juventude. No trabalho e sobretudo à noite, ele retornava à sua física. A atmosfera sossegada do escritório de patentes lhe convinha. Ele o chamou de seu "mosteiro mundano".[33]

Einstein mal havia se acomodado ao novo emprego quando soube que o pai estava morrendo de doença cardíaca. Em outubro, teve de partir imediatamente para Milão. No leito da morte, Hermann enfim deu a sua aprovação ao casamento com Mileva. A morte o deixou com uma sensação esmagadora de que havia desapontado o pai e a família, sentimento que nunca o abandonaria. Sua secretária Helen Dukas escreveu: "Muitos anos depois, ele ainda recordava vivamente a desoladora sensação de perda. De fato, numa ocasião, ele escreveu que a morte do pai foi o pior choque de sua vida".[34] Maja em particular observou amargurada que "o triste destino não permitiu que [o pai] sequer suspeitasse que dois anos depois seu filho estabeleceria

a base de sua grandeza e fama futuras".[35]

Em janeiro de 1903, Einstein enfim se sentiu seguro o suficiente para se casar com Mileva. Um ano depois, nascia o filho Hans. Einstein acomodou-se a uma vida de funcionário público subalterno em Berna, marido e pai. Seu amigo David Reichinstein lembrou com clareza a visita a Einstein naquele período:

> A porta do apartamento estava aberta para que o chão, que acabara de ser limpo, e as roupas lavadas, penduradas no vestíbulo, pudessem secar. Entrei no quarto de Einstein. Com uma mão, ele embalava estoicamente um berço onde havia um bebê. Na boca, um charuto bem ordinário e, na outra mão, um livro aberto. O fogão exalava uma fumaça horrível.[36]

Para reforçar o orçamento, Einstein pôs um anúncio no jornal local oferecendo "aulas particulares de matemática e física".[37] Foi a primeira vez que o nome dele apareceu no jornal. Maurice Solovine, um estudante judeu romeno de filosofia, foi a primeira pessoa a responder ao anúncio. Einstein adorou descobrir que Solovine era uma excelente caixa de ressonância para suas muitas idéias sobre espaço, tempo e luz. Para não se isolar perigosamente das principais correntes da física, teve a idéia de formar um grupo de estudos informal, que chamou, de modo gaiato, de "Academia Olímpica", para debater as grandes questões da época.

Em retrospecto, os dias gastos com o grupo acadêmico talvez tenham sido os mais alegres da vida de Einstein. Décadas depois, seus olhos ficariam rasos d'água ao lembrar as afirmações vibrantes e audaciosas que faziam à medida que devoravam vorazmente todas as grandes obras científicas da época. Seus debates animados e discussões ruidosas soavam pelas cafeterias e cervejarias de Zurique, e tudo parecia possível. Eles jurariam com entusiasmo: "Estas palavras de Epicuro aplicavam-se a nós: 'Como é bela uma pobreza alegre!'".[38]

Em particular, debruçaram-se sobre o trabalho controvertido de Ernst Mach, físico e filósofo vienense um tanto implicante, que desafiava qualquer um que falasse de coisas que estivessem além de nossos sentidos. Mach expôs suas teorias em um livro influente, *A ciência da mecânica*. Ele contestou a idéia de átomos, que julgava totalmente além do domínio do mensurável. O que mais chamou a atenção de Einstein, porém, foi a crítica mordaz de Mach ao éter e ao movimento absoluto. Para Mach, a estrutura imponente da mecânica newtoniana baseava-se em areia, já que os conceitos de espaço absoluto e tempo absoluto jamais poderiam ser medidos. Ele acreditava que os movimentos relativos podiam ser medidos, mas movimentos absolutos não. Ninguém jamais encontrara o obscuro referencial absoluto capaz de determinar os movimentos dos planetas e estrelas, e muito menos nenhum indício experimental do éter.

Uma série de experimentos que revelaram um defeito fatal nesse panorama newtoniano havia sido realizada em 1887 por Albert Michelson e Edward Morley. Eles se propuseram a fornecer a melhor medição possível das propriedades desse éter invisível. Raciocinaram que a Terra se movia dentro desse mar de éter, criando um "vento de éter". Por conseguinte, a velocidade da luz deveria mudar de acordo com a direção da Terra.

Imagine, por exemplo, uma corrida ao vento. Se você corre na mesma direção do vento, sente-se empurrado por ele. Com o vento nas costas, sua velocidade aumenta, e na verdade ela

foi acrescida da velocidade do vento. Já se você corre contra o vento, perde velocidade; a perda equivale à velocidade do vento. Se corre lateralmente, a noventa graus do vento, é empurrado para o lado com outra velocidade. O fato é que sua velocidade muda de acordo com a direção em relação ao vento.

Michelson e Morley conceberam um experimento engenhoso pelo qual um raio de luz é dividido em dois raios distintos, projetados em direções diferentes, formando um ângulo reto. Espelhos refletiam os raios de volta à origem, e então os dois raios podiam se misturar e interferir entre si. O mecanismo todo foi cuidadosamente colocado num leito de mercúrio líquido, de modo a poder rodar livremente, e era tão delicado que detectava com facilidade o movimento de carruagens próximas. De acordo com a teoria do éter, os dois raios deveriam deslocar-se a velocidades diferentes. Um raio, por exemplo, seguiria na direção do movimento da Terra no éter e o outro raio se moveria a noventa graus do vento de éter. Desse modo, quando retornassem à origem, deveriam estar fora de fase entre si.

Para seu total espanto, Michelson e Morley constataram que a velocidade de todos os raios de luz era idêntica, qualquer que fosse a direção para a qual o mecanismo apontasse. Essa constatação foi profundamente perturbadora, pois implicava a inexistência do vento de éter e a constância da velocidade da luz, mesmo quando rodavam o mecanismo em outras direções.

Isso deixou os físicos com duas opções desagradáveis. A primeira era que a Terra poderia estar perfeitamente estacionária em relação ao éter. Esta opção parecia violar tudo que se sabia da astronomia desde o trabalho original de Copérnico, que descobriu que a localização da Terra no universo nada tinha de especial. A segunda opção era abandonar a teoria do éter e, com ela, a mecânica newtoniana.

Esforços heróicos foram realizados para salvar a teoria do éter. O passo mais firme na busca da resolução desse enigma foi dado pelo físico holandês Hendrik Lorentz e o físico irlandês George FitzGerald. Eles raciocinaram que a Terra, em seu movimento pelo éter, era fisicamente comprimida pelo vento de éter, de modo que todas as réguas métricas no experimento de Michelson-Morley se contraíam. O éter, já dotado das propriedades quase místicas de ser invisível, não-compressível, denso ao extremo e assim por diante, agora adquiria outra: podia comprimir mecanicamente os átomos ao passar por eles. Isso explicaria de maneira conveniente o resultado negativo. Nessa perspectiva, a velocidade da luz de fato mudava, só que não era possível medi-la. Sempre que se tentava usar uma régua métrica, esta se contraía na direção do vento de éter na medida certa da mudança da velocidade da luz.

Lorentz e FitzGerald fizeram cálculos independentes para o grau de encolhimento, gerando a agora denominada "contração de Lorentz-FitzGerald". Nenhum dos dois ficou muito satisfeito com o resultado; era apenas um paliativo, um meio de remendar a mecânica newtoniana, mas foi o melhor que conseguiram fazer. Foram poucos os físicos que gostaram da contração de Lorentz-FitzGerald, já que dava a impressão de um princípio *ad hoc*, introduzido para salvar do naufrágio a teoria do éter. Para Einstein, a idéia do éter, com suas propriedades semimilagrosas, parecia artificial e forçada. Numa época anterior, Copérnico arrasara o sistema solar de Ptolomeu, centrado na Terra, que requeria que os planetas perfizessem movimentos circulares extremamente complexos chamados de "epiciclos". Com a Navalha de Occam,*

Copérnico eliminou o excesso de epiciclos necessários para remendar o sistema de Ptolomeu e colocou o Sol no centro do sistema solar.

À semelhança de Copérnico, Einstein lançaria mão da Navalha de Occam para decepar as muitas pretensões da teoria do éter. E o faria usando uma imagem infantil.



* Princípio filosófico que preconiza a economia conceitual. A navalha deve ser usada para cortar as "gorduras" das teorias, ou seja, as entidades desnecessárias e excessivas. (N. T.)

CAPÍTULO 3
RELATIVIDADE RESTRITA E O "ANO MILAGROSO"

Intrigado pelas críticas de Mach à teoria de Newton, Einstein retornou à imagem que o perseguira desde os dezesseis anos: correr ao lado de um raio de luz. Voltou à descoberta curiosa, mas importante, efetuada ainda na Politécnica, de que na teoria de Maxwell a velocidade da luz era sempre a mesma, não importa como fosse medida. Durante anos, tentou entender como aquilo seria possível, porque num mundo newtoniano, do senso comum, sempre é possível alcançar um objeto veloz.

Imagine de novo o policial perseguindo o motorista infrator. Se ele acelerar bem o carro, sabe que acabará alcançando o infrator. Quem já foi flagrado pela polícia em excesso de velocidade sabe disso. Mas, se substituirmos o motorista infrator por um raio de luz, um observador que testemunhe toda a perseguição concluirá que o policial está no encalço do raio de luz, quase à mesma velocidade. Achamos que o policial deve saber que está quase alcançando o raio de luz. Só que mais tarde, quando o entrevistarmos, ouviremos uma versão estranha. Ele negará que chegou perto do raio de luz, como acabamos de testemunhar. Pelo contrário, a luz afastou-se dele, deixando-o para trás. Dirá que, por mais que acelerasse o carro, o raio de luz continuava se afastando à mesma velocidade. Jurará que não conseguiu nem sequer chegar perto do raio de luz. Por mais que corresse, o raio continuava se afastando à velocidade da luz, como se o carro da polícia estivesse parado.

Se você insistir que viu o policial no encalço do raio de luz e que ele quase o alcançou, ele dirá que você está maluco. Ele nem chegou perto do raio. Para Einstein, este era o mistério central, torturante: *como era possível duas pessoas verem o mesmo evento de maneiras tão diferentes?* Se a velocidade da luz era realmente uma constante da natureza, como uma testemunha poderia afirmar que o policial estava quase alcançando o raio luminoso, enquanto este jura que não chegou nem perto da luz?

Einstein já havia percebido que o modelo newtoniano (em que velocidades podem ser somadas e subtraídas) e o modelo maxwelliano (em que a velocidade da luz era uma constante) estavam em total contradição. A teoria newtoniana era um sistema completo, baseado em alguns pressupostos. A mudança de apenas um desses pressupostos poderia desfazer a teoria inteira, assim como um fio solto pode desfazer um suéter. Esse fio seria o devaneio de Einstein de perseguir um raio de luz.

Um dia, por volta de maio de 1905, Einstein foi visitar seu grande amigo Michele Besso, também funcionário do escritório de patentes, e expôs as dimensões do problema que o

intrigava havia uma década. Usando Besso como uma caixa de ressonância preferida para suas idéias, Einstein apresentou a questão: a mecânica newtoniana e as equações de Maxwell, os dois pilares da física, eram incompatíveis. Uma das duas estava errada. Fosse qual fosse a teoria que se mostrasse correta, a resolução final exigiria uma vasta reorganização de toda a física. Ele discorreu longamente sobre o paradoxo da perseguição ao raio de luz. Einstein mais tarde recordaria: "O germe da teoria da relatividade restrita já estava presente naquele paradoxo".[1] Eles conversaram por horas, discutindo cada aspecto do problema, inclusive o conceito de Newton de espaço e tempo absolutos, que parecia violar a constância da velocidade da luz de Maxwell. No final, totalmente esgotado, Einstein anunciou que se sentia derrotado e que abandonaria toda aquela busca. Era inútil; ele havia fracassado.

Embora estivesse deprimido, as idéias continuavam a agitar sua mente quando retornou de noite para casa. Em particular, lembrou-se de que estava num bonde em Berna, olhando para a famosa torre do relógio que se destacava na cidade. Naquele momento, imaginou o que aconteceria se o bonde se afastasse da torre do relógio à velocidade da luz. Logo percebeu que o relógio pareceria parado, já que a luz não conseguiria alcançar o bonde, mas seu próprio relógio no bonde continuaria funcionando normalmente.

A chave de todo o problema lhe veio de repente. Einstein recordou: "Uma tempestade se desencadeou na minha mente".[2] A resposta era simples e elegante: *o tempo pode avançar em velocidades diferentes através do universo, de acordo com a velocidade em que nos movemos*. Imagine relógios espalhados em pontos diferentes do espaço, cada um anunciando uma hora diferente, cada um tiquetaqueando a um ritmo diferente. Um segundo na Terra não teria a mesma duração de um segundo na Lua ou um segundo em Júpiter. De fato, quanto mais rápido você se movesse, mais o tempo se retardava. (Einstein certa vez brincou que enquanto na teoria da relatividade espalhava relógios pelo universo, cada um funcionando num ritmo diferente, na vida real ele não tinha dinheiro para comprar um relógio sequer.) Isso significava que eventos simultâneos em um referencial não eram necessariamente simultâneos em outro, como Newton pensara. Ele havia enfim penetrado nos "pensamentos de Deus", e recordaria entusiasmado:

> A solução veio a mim subitamente com o pensamento de que os nossos conceitos e leis de espaço e tempo só podem ser considerados válidos na medida em que estão numa relação clara com nossas experiências. Por uma revisão do conceito de simultaneidade, dando-lhe uma forma mais flexível, cheguei à teoria da relatividade.[3]

Por exemplo, lembre-se de que, no paradoxo do motorista infrator, o policial estava quase alcançando o raio de luz, embora ele próprio alegasse que o raio se afastava dele exatamente à velocidade da luz, por mais que acelerasse o carro. A única forma de conciliar as duas versões é desacelerar o cérebro do policial. *O tempo se retarda para o policial*. Se pudéssemos observar o relógio de pulso do policial da beira da estrada, veríamos que ele quase parou e que as expressões faciais do guarda se congelaram no tempo. Desse modo, do nosso ponto de vista, vimos o guarda quase alcançando o raio de luz, mas seus relógios (e seu cérebro) estavam quase

parados. Quando entrevistarmos o policial mais tarde, constataremos que ele percebeu o raio de luz se afastando em alta velocidade apenas porque seu cérebro e seus relógios estavam funcionando bem mais lentamente.

Para completar sua teoria, Einstein também incorporou a contração de Lorentz-FitzGerald, mas o próprio espaço é que se contraía, e não os átomos, como pensaram Lorentz e FitzGerald. (O efeito combinado da contração do espaço e dilatação do tempo é hoje chamado "transformação de Lorentz".) Desse modo, ele pôde dispensar totalmente a teoria do éter. Sintetizando o caminho que tomou para a relatividade, escreveria: "Devo mais a Maxwell que a qualquer um".[4] Ao que tudo indica, embora estivesse vagamente informado do experimento de Michelson e Morley, a inspiração para a relatividade não adveio do vento de éter, e sim direto das equações de Maxwell.

No dia seguinte a essa revelação, Einstein voltou à casa de Besso e, sem dizer olá, revelou: "Obrigado, resolvi totalmente o problema".[5] Recordaria com orgulho: "Uma análise do conceito de tempo foi minha solução. O tempo não pode ser definido de forma absoluta, e há uma relação inseparável entre tempo e velocidade do sinal". Durante as seis semanas seguintes, elaborou furiosamente cada detalhe matemático de seu insight brilhante. Pode-se dizer que o resultado foi um dos artigos científicos mais importantes de todos os tempos. De acordo com seu filho, ele ficou de repouso por duas semanas depois de entregar o artigo a Mileva para que ela checasse eventuais erros matemáticos. O artigo final, "Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento", tinha 31 páginas manuscritas, mas mudou a história do mundo.

No artigo, ele não cita nenhum outro físico, apenas agradece a Michele Besso. (Einstein estava informado do trabalho inicial de Lorentz sobre o assunto, mas não da própria contração de Lorentz, que descobriu de forma independente.) O artigo foi enfim publicado no volume 17 dos *Annalen der Physik*, de setembro de 1905. Na verdade, Einstein publicaria três de seus artigos revolucionários nesse famoso volume 17. Seu colega Max Born escreveu que o volume 17 é "um dos mais notáveis de toda a literatura científica. Contém três artigos de Einstein, cada qual lidando com um assunto diferente, e todos reconhecidamente obras-primas".[6] (Exemplares daquele famoso volume alcançaram 15 mil dólares num leilão em 1994.)

De forma bem ambiciosa, Einstein começou o artigo afirmando que suas teorias funcionavam não apenas para a luz, como para o próprio universo. Notadamente, derivava todo o trabalho de dois postulados simples aplicáveis a referenciais inerciais (isto é, objetos que se movem com velocidade constante entre si):

1. *As leis da física são as mesmas em todos os referenciais de inércia.*
2. *A velocidade da luz é uma constante em todos os referenciais de inércia.*

Esses dois princípios, que parecem simples, representam os insights mais profundos sobre a natureza do universo desde a obra de Newton. Deles é possível derivar um quadro totalmente novo do espaço e do tempo.

Para começar, numa tacada de mestre, Einstein provou elegantemente que se a velocidade da luz era na verdade uma constante da natureza, então a solução mais geral era a transformação

de Lorentz. Então mostrou que as equações de Maxwell de fato respeitavam este princípio. Por fim, mostrou que as velocidades se somam umas às outras de uma forma peculiar. Embora Newton, observando o movimento de veleiros, concluísse que as velocidades poderiam se somar umas às outras sem limite, Einstein concluiu que a velocidade da luz era a velocidade máxima no universo. Imagine, por enquanto, que você está dentro de um foguete que se afasta da Terra a 90% da velocidade da luz. Agora dispare uma bala, de dentro do foguete, que também alcance 90% da velocidade da luz. De acordo com a física newtoniana, a bala deveria disparar a 180% da velocidade da luz, excedendo-a, portanto. Mas Einstein mostrou que, como as réguas métricas estão diminuindo e o tempo está se retardando, a soma dessas velocidades, na verdade, se aproxima de 99% da velocidade da luz. De fato, Einstein conseguiu provar que, por mais que se tentasse, jamais se conseguiria ir além da velocidade da luz. Trata-se do limite máximo de velocidade no universo.

Nunca vemos essas estranhas distorções na nossa experiência porque jamais nos aproximamos da velocidade da luz. Para as velocidades do dia-a-dia, as leis de Newton são perfeitamente adequadas. Esse é o motivo fundamental de mais de duzentos anos terem decorrido até que alguém descobrisse a primeira correção às leis de Newton. Mas agora imagine que a velocidade da luz seja de apenas trinta quilômetros por hora. Se um carro fosse descer a rua, poderia parecer comprimido na direção do movimento, espremido como um acordeão até chegar a três centímetros de comprimento, por exemplo, embora a altura permaneça a mesma. Como os passageiros do carro estão espremidos em três centímetros, seria de esperar que berrassem desesperados conforme seus ossos fossem sendo triturados. Na verdade, os passageiros do carro não vêem nada de anormal, já que tudo dentro do carro, inclusive os átomos dos corpos, está sendo espremido por igual.

À medida que o carro fosse parando, ele aumentaria lentamente de três centímetros para três metros, e os passageiros saltariam como se nada tivesse acontecido. Quem é de fato comprimido? Você ou o carro? De acordo com a relatividade, não é possível saber, já que o conceito de comprimento não tem sentido absoluto.

Em retrospecto, dá para ver que outros cientistas por pouco não descobriram a relatividade. Lorentz e FitzGerald obtiveram a mesma contração, mas chegaram a uma compreensão totalmente errada do resultado, julgando que fosse uma deformação eletromecânica dos átomos, em vez de uma transformação sutil do próprio espaço e tempo. Henri Poincaré, reconhecido como o maior matemático francês de sua época, chegou perto. Ele entendeu que a velocidade da luz deve ser uma constante em todos os referenciais de inércia e chegou a mostrar que as equações de Maxwell conservavam a mesma forma sob uma transformação de Lorentz. No entanto, também se recusou a abandonar o arcabouço newtoniano do éter e pensou que essas distorções fossem estritamente um fenômeno da eletricidade e do magnetismo.

Einstein então foi em frente e deu o próximo salto decisivo. Escreveu um pequeno artigo, quase uma nota de rodapé, no final de 1905, que iria mudar a história do mundo. Se réguas métricas e relógios se distorcem com o aumento da velocidade, tudo que se pode medir com réguas métricas e relógios também deve mudar, inclusive a matéria e a energia. De fato, matéria

e energia podiam se transformar uma na outra. Por exemplo, Einstein conseguiu mostrar que a massa de um objeto aumentava com o aumento de sua velocidade. (A massa se tornaria infinita se fosse atingida a velocidade da luz — o que é impossível e prova a inacessibilidade da velocidade da luz.) Isso significava que a energia do movimento estava, de algum modo, sendo transformada, aumentando a massa do objeto. *Portanto, matéria e energia são intercambiáveis*. Se você calculasse precisamente quanta energia estava sendo convertida em massa, em apenas algumas linhas poderia mostrar que $E = mc^2$, a mais célebre equação de todos os tempos. Como a velocidade da luz era um número fantasticamente grande, e seu quadrado ainda maior, mesmo uma quantidade minúscula de matéria poderia liberar uma quantidade fabulosa de energia. Algumas colheradas de matéria, por exemplo, possuem a energia de várias bombas de hidrogênio. De fato, um pedaço de matéria do tamanho de uma casa poderia ser suficiente para rachar a Terra ao meio.

A fórmula de Einstein não era um simples exercício acadêmico, porque ele acreditava que pudesse explicar um fato curioso descoberto por Marie Curie: apenas 28 gramas de rádio emitiam 4 mil calorias de calor por hora indefinidamente, em aparente violação à primeira lei da termodinâmica (que afirma que a quantidade total de energia é sempre constante ou conservada). Ele concluiu que deveria ocorrer um ligeiro decréscimo de sua massa, à medida que o rádio irradiava energia (quantidade pequena demais para ser medida com o equipamento de 1905). "A idéia é divertida e atraente; mas se o Todo-Poderoso está rindo dela e me induzindo ao erro — isto não posso saber", escreveu.[7] Concluiu que uma verificação direta dessa suposição, "ao que tudo indica, está por ora além do domínio da experiência possível".[8]

Por que essa energia inexplorada não havia sido percebida antes? Para ele, era como um homem riquíssimo que, para manter sua fortuna em segredo, jamais gastava um centavo.

Banesh Hoffman, um ex-aluno, escreveu:

> Imagine a audácia de de tal mudança. [...] Cada torrão de terra, cada pena, cada ponto de poeira se tornando um reservatório prodigioso de energia inexplorada. Não havia meio de verificar essa suposição na época. No entanto, ao apresentar sua equação em 1907, Einstein falou que ela seria a conseqüência mais importante de sua teoria da relatividade. Sua capacidade extraordinária de ver bem à frente é ilustrada pelo fato de que sua equação só veio a ser verificada [...] uns 25 anos depois.[9]

De novo, o princípio da relatividade forçou uma grande revisão na física clássica. Antes, os físicos acreditavam na conservação da energia, a primeira lei da termodinâmica, que afirma que a quantidade total de energia não pode ser criada nem destruída. Agora, estavam convictos da conservação de uma quantidade total combinada de matéria e energia.

A mente inquieta de Einstein atacou mais um problema naquele mesmo ano: o efeito fotoelétrico. Heinrich Hertz, já em 1887, observou que se um raio de luz atingisse um metal, sob certas circunstâncias, uma pequena corrente elétrica poderia ser criada. Esse é o mesmo princípio subjacente a grande parte da eletrônica moderna. Baterias solares convertem luz solar comum em energia elétrica, que pode ser usada para energizar nossas calculadoras. Câmeras de

TV convertem raios de luz em correntes elétricas, que acabam aparecendo em nossa tela de TV.

No entanto, na virada para o século XX, isso ainda era um mistério total. De algum modo, o raio de luz estava impelindo elétrons para fora do metal; mas como? Newton era da opinião de que a luz consistia em partículas minúsculas que denominou "corpúsculos", mas os físicos estavam convencidos de que a luz era uma onda, e, de acordo com a teoria ondulatória clássica, sua energia era independente de sua freqüência. Por exemplo, embora as luzes vermelha e verde tenham freqüências diferentes, deveriam ter a mesma energia, de modo que, ao atingirem um pedaço de metal, a energia dos elétrons expulsos também deveria ser a mesma. Similarmente, a teoria ondulatória clássica dizia que, caso se aumentasse a intensidade do raio de luz acrescentando mais lâmpadas, a energia dos elétrons expulsos deveria aumentar. Mas o trabalho de Philipp Lenard demonstrou que a energia dos elétrons expulsos era rigorosamente dependente da freqüência ou cor do raio de luz, e não de sua intensidade, o que contrariava a previsão da teoria ondulatória.

Einstein procurou explicar o efeito fotoelétrico usando a nova "teoria quântica", descoberta recentemente por Max Planck em Berlim, em 1900. Planck fez uma das rupturas mais radicais com a física clássica, presumindo que a energia não era uma quantidade contínua, como um líquido, mas ocorria em pacotes definidos e descontínuos, denominados *quanta*. A energia de cada *quantum* era proporcional à sua freqüência. A constante de proporcionalidade era uma nova constante da natureza, agora chamada de "constante de Planck". Um motivo para o mundo dos átomos e o *quantum* parecerem tão insólitos é a extrema pequenez da constante de Planck. Einstein raciocinou que, se a energia ocorria em pacotes descontínuos, a própria luz devia ser quantizada. (O pacote de "*quanta* luminosos" de Einstein foi mais tarde batizado de "fóton", uma partícula de luz, pelo químico Gilbert Lewis, em 1926.) Concluiu ainda que se a energia do fóton era proporcional à sua freqüência, a energia do elétron expulso também deveria ser proporcional à sua freqüência, contrariando a física clássica. (É divertido observar que, na série de TV *Jornada nas estrelas*, a tripulação da *Enterprise* atira "torpedos fotônicos" nos seus inimigos. A rigor, a forma mais simples de lançar torpedos fotônicos é acender uma lanterna!)

O novo modelo de Einstein, uma teoria quântica da luz, fazia uma previsão direta experimentalmente testável. Aumentando-se a freqüência do raio de luz recebido, deveria ser possível medir um aumento ligeiro da voltagem gerada no metal. Esse artigo histórico (que lhe granjearia o prêmio Nobel de Física) foi publicado em 9 de junho de 1905 com o título "Sobre um ponto de vista heurístico referente à produção e transformação da luz". Com ele nascia o fóton, bem como a teoria quântica da luz.

Ainda em outro artigo escrito durante o "ano milagroso" de 1905, Einstein abordou a questão do átomo. Embora a teoria atômica tivesse previsto com muito êxito as propriedades dos gases e reações químicas, faltava uma prova direta da existência dos átomos, como Mach e outros críticos gostavam de observar. Einstein raciocinou que deveria ser possível provar a existência dos átomos observando seu efeito sobre partículas pequenas em um líquido. O movimento browniano, por exemplo, consiste em movimentos minúsculos e aleatórios de partículas pequenas em suspensão num líquido. Essa propriedade foi descoberta em 1828 pelo botânico

Robert Brown, que observou grãos de pólen minúsculos sob um microscópio exibindo movimentos aleatórios estranhos. De início, pensou que esses movimentos em ziguezague fossem como o de espermatozóides. Mas descobriu que esse comportamento estranho e aberrante também era exibido por grãos minúsculos de vidro e granito.

Alguns haviam especulado que o movimento browniano poderia ser causado pelos impactos aleatórios de moléculas, mas ninguém conseguia formular uma teoria razoável desse fenômeno. Einstein, porém, deu o próximo passo decisivo. Raciocinou que, ainda que os átomos fossem pequenos demais para serem observados, seria possível estimar seu tamanho e comportamento calculando-se seu impacto cumulativo sobre objetos grandes. A teoria atômica, se verdadeira, deveria ser capaz de calcular as dimensões físicas dos átomos pela análise do movimento browniano. Pressupondo que as colisões aleatórias de trilhões e trilhões de moléculas de água estavam causando movimentos aleatórios de uma partícula de poeira, ele conseguiu calcular o tamanho e o peso dos átomos, fornecendo assim um indício experimental da sua existência.

Foi simplesmente espantoso que, olhando num simples microscópio, Einstein conseguisse calcular que um grama de hidrogênio continha 3,03 3 1023 átomos, que está próximo do valor correto. O título foi "Sobre o movimento de partículas pequenas em suspensão em líquidos estacionários requerido pela teoria molecular-cinética do calor" (18 de julho). Esse artigo simples forneceu a primeira prova experimental da existência dos átomos. (Por ironia, um ano depois de Einstein calcular o tamanho dos átomos, o físico Ludwig Boltzmann, pioneiro da teoria atômica, suicidou-se, em parte por ser constantemente ridicularizado por defender tal teoria.) Após escrever esses quatro artigos históricos, Einstein também submeteu ao seu orientador, o professor Alfred Kleiner, como sua dissertação, um artigo anterior sobre o tamanho das moléculas. Naquela noite, tomou um porre com Mileva.

A princípio sua dissertação foi recusada. Mas em 15 de janeiro de 1906 Einstein enfim recebeu um Ph.D. da Universidade de Zurique. Agora podia intitular-se doutor Einstein. O nascimento da nova física ocorreu totalmente na residência dele, em Kramgasse 49, Berna. (A atual "Casa de Einstein". Olhando pela varanda envidraçada que dá para rua, lê-se numa placa que a teoria da relatividade foi criada através daquela janela. Na outra parede vê-se uma foto da bomba atômica.)

Assim, 1905 foi sem dúvida um *annus mirabilis* na história da ciência. Se quisermos encontrar outro ano milagroso semelhante, teremos de retroceder a 1666, quando Isaac Newton, aos 23 anos, descobriu a lei da gravitação universal, o cálculo integral e diferencial, o teorema binomial e sua teoria das cores.

Einstein encerrara o ano de 1905 formulando a teoria dos fótons, fornecendo indícios da existência de átomos e derrubando o arcabouço da física newtoniana, cada um desses feitos digno de aclamação internacional. Mas ficou desapontado com o silêncio absoluto que se seguiu. Pelo jeito, seu trabalho estava sendo totalmente ignorado. Desanimado, tratou da vida pessoal, criando seu filho e dando duro no escritório de patentes. Talvez a pretensão de desbravar mundos novos em física fosse ambiciosa demais.

No início de 1906, porém, o primeiro lampejo de resposta deixou Einstein mais esperançoso.

Ele recebeu uma única carta, mas daquele que era provavelmente o maior físico da época, Max Planck, que entendeu imediatamente as implicações radicais do seu trabalho. O que atraiu Planck para a teoria da relatividade foi que ela transformava uma quantidade, a velocidade da luz, numa constante fundamental da natureza. A constante de Planck, por exemplo, separava o mundo clássico do mundo subatômico do *quantum*. Estamos protegidos das propriedades estranhas dos átomos devido à pequenez da constante de Planck. Planck sentiu que, de forma semelhante, Einstein apresentava a velocidade da luz como uma nova constante da natureza. Estávamos protegidos do mundo igualmente estranho da física cósmica pela imensidão da velocidade da luz.

Na mente de Planck, estas duas constantes — a de Planck e a velocidade da luz — marcavam os limites do senso comum e da física newtoniana. Não conseguimos ver a natureza fundamentalmente estranha da realidade física devido à pequenez da constante de Planck e à imensidão da velocidade da luz. Se a relatividade e a teoria quântica transgrediam o senso comum, era apenas porque vivemos nossa vida inteira num cantinho do universo, em um mundo protegido, onde as velocidades são baixas em comparação com a velocidade da luz e os objetos são tão grandes que nunca deparamos com a constante de Planck. A natureza, porém, não está nem aí para o nosso senso comum, e criou um universo baseado em partículas subatômicas que se aproximam rotineiramente da velocidade da luz e obedecem à fórmula de Planck.

No verão de 1906, Planck enviou seu assistente Max von Laue para um encontro com aquele obscuro funcionário público que aparecera do nada para desafiar o legado de Isaac Newton. Eles tinham combinado se encontrar na sala de espera do escritório de patentes, mas curiosamente passaram um pelo outro sem se reconhecer, porque Von Laue esperava ver uma figura imponente, dominadora. Quando Einstein enfim se apresentou, Von Laue surpreendeu-se de encontrar alguém completamente diferente, um funcionário público jovem e trajado de maneira informal. Eles se tornaram amigos para o resto da vida. (No entanto, Von Laue sabia muito bem identificar um charuto ruim. Quando Einstein lhe deu um, Von Laue, ao atravessar uma ponte, o atirou discretamente no rio Aare sem que Einstein percebesse.)

Com a bênção de Max Planck, o trabalho de Einstein começou gradualmente a atrair a atenção de outros físicos. Por ironia, um dos antigos professores de Einstein na Politécnica, aquele que o chamara de "cão preguiçoso" por matar suas aulas, mostrou um interesse especial pelo trabalho do ex-aluno. O matemático Hermann Minkowski deu um passo à frente e desenvolveu ainda mais as equações da relatividade, tentando reformular a observação de Einstein de que, com o aumento da velocidade, o espaço se transforma em tempo e vice-versa. Minkowski pôs isto em linguagem matemática e concluiu que espaço e tempo formavam uma unidade quadridimensional. De repente, todo mundo estava falando da quarta dimensão.

Em um mapa, por exemplo, são necessárias duas coordenadas (comprimento e largura) para localizar qualquer ponto. Se acrescentarmos uma terceira dimensão, a altura, poderemos localizar qualquer objeto no espaço, da ponta do nariz aos confins do universo. O mundo visível à nossa volta é, portanto, tridimensional. Escritores como H. G. Wells conjeturaram que talvez o tempo pudesse ser visto como uma quarta dimensão, de modo que todo evento

pudesse ser localizado pelas coordenadas tridimensionais e a hora em que ocorreu. Assim, se você quer se encontrar com alguém em Nova York, poderia combinar: "Encontre-me na esquina da rua 42 com a Quinta Avenida, no vigésimo andar, ao meio-dia". Quatro números especificam singularmente o evento. Mas a quarta dimensão de Wells não passava de uma idéia, sem conteúdo matemático ou físico.

Minkowski reescreveu então as equações de Einstein para revelar essa bela estrutura que associava para sempre espaço e tempo numa trama quadridimensional. Minkowski escreveu: "Doravante, espaço e tempo separadamente desapareceram no nada, e só uma espécie de união dos dois preservará qualquer realidade independente".[10]

De início, Einstein não se impressionou. De fato, chegou a escrever zombeteiramente: "O principal é o conteúdo, não a matemática. Com matemática, você consegue provar qualquer coisa".[11] Einstein acreditava que no núcleo da relatividade residiam princípios físicos básicos, não uma matemática quadridimensional bonita, mas sem sentido, que ele chamou de "erudição supérflua".[12] Para ele, o essencial era uma imagem clara e simples (por exemplo, trens, elevadores em queda, foguetes), e a matemática viria depois. Na verdade, àquela altura achava que a matemática representava somente a contabilidade necessária para acompanhar o que estava acontecendo.

Einstein escreveria, meio de brincadeira: "Desde que os matemáticos atacaram a teoria da relatividade, eu mesmo não a entendo mais".[13] Com o tempo, porém, passou a reconhecer o pleno poder do trabalho de Minkowski e suas implicações matemáticas profundas. O que Minkowski mostrara foi que era possível unificar dois conceitos aparentemente díspares empregando o poder da simetria. Espaço e tempo deveriam agora ser vistos como estados diferentes do mesmo objeto. De forma semelhante, energia e matéria, bem como eletricidade e magnetismo, podiam ser relacionados por meio da quarta dimensão. A *unificação pela simetria* tornou-se um dos princípios norteadores de Einstein pelo resto da vida.

Pense num floco de neve, por exemplo. Se você gira o floco de neve sessenta graus, ele permanece o mesmo. Matematicamente, objetos que conservam a forma após uma rotação se dizem "co-variantes". Minkowski mostrou que as equações de Einstein, como um floco de neve, permanecem co-variantes quando se giram espaço e tempo como objetos quadridimensionais.

Em outras palavras, estava nascendo um princípio novo da física, aprimorando ainda mais o trabalho de Einstein: *as equações da física precisam ser co-variantes de Lorentz* (ou seja, conservar a mesma forma sob uma transformação de Lorentz). Einstein admitiria mais tarde que sem a matemática quadridimensional de Minkowski a relatividade "poderia estar engatinhando até hoje".[14] O notável foi que essa nova física quadridimensional permitiu aos físicos resumir todas as equações da relatividade numa forma bastante compacta. Por exemplo, todo aluno de engenharia elétrica ou físico, ao estudar pela primeira vez a série de Maxwell de oito equações diferenciais parciais, encontra terríveis dificuldades. Mas a nova matemática de Minkowski reduziu as equações de Maxwell a apenas duas. (Na verdade, pode-se provar, usando a matemática quadridimensional, que as equações de Maxwell são as *mais simples* possíveis para descrever a luz.) Pela primeira vez, os físicos reconheceram o poder da simetria

em suas equações. Quando um físico fala de "beleza e elegância" em física, o que de fato quer dizer é que a simetria permite unificar um grande número de fenômenos e conceitos heterogêneos numa forma notadamente compacta. *Quanto mais bonita uma equação, maior sua simetria, e mais fenômenos consegue explicar na menor quantidade de espaço.*

Desse modo, o poder da simetria permite que unifiquemos partes discrepantes em seu todo harmonioso, integral. Girar um floco de neve, por exemplo, permite que vejamos a unidade existente entre cada ponto do floco. Girar no espaço quadridimensional unifica o conceito de espaço e tempo, transformando um no outro à medida que a velocidade aumenta. Este conceito bonito e conciso — de que a simetria unifica, num todo agradável e harmonioso, entidades aparentemente desiguais — orientou Einstein nos cinqüenta anos seguintes.

Paradoxalmente, assim que completou a teoria da relatividade restrita, Einstein começou a perder o interesse por ela, preferindo refletir sobre outra questão mais profunda: o problema da gravidade e da aceleração, que parecia além do alcance da relatividade restrita. Einstein dera origem à teoria da relatividade, mas, como qualquer pai amoroso, logo percebeu suas falhas potenciais e tentou corrigi-las. (Voltaremos a esse ponto adiante.)

Enquanto isso, indícios experimentais começaram a confirmar algumas de suas idéias, o que aumentou sua visibilidade na comunidade da física. O experimento de Michelson e Morley foi repetido, produzindo sempre o mesmo resultado negativo e lançando dúvida sobre toda a teoria do éter. Ao mesmo tempo, experimentos sobre o efeito fotoelétrico confirmaram as equações de Einstein. Além disso, em 1908, experimentos com elétrons em alta velocidade pareciam provar que a massa do elétron aumentava com a velocidade. Animado com os sucessos experimentais crescentes de sua teoria, Einstein candidatou-se a um cargo de palestrante (*Privatdozent*) na vizinha Universidade de Berna. O cargo era inferior ao de professor, mas lhe oferecia a vantagem de poder continuar no emprego do escritório de patentes. Ele submeteu sua tese sobre relatividade, bem como outros trabalhos publicados. De início, foi rejeitado pelo chefe do departamento, Aime Foster, que declarou que a teoria da relatividade era incompreensível. A segunda tentativa foi bem-sucedida.

Em 1908, com o aumento dos sinais de que Einstein havia feito avanços revolucionários em física, seu nome foi cogitado para um cargo mais prestigioso na Universidade de Zurique. Entretanto, ele enfrentou um concorrente forte, seu velho conhecido Friedrich Adler. Os dois principais candidatos ao cargo eram judeus, o que era um obstáculo, mas Adler era filho do fundador do Partido Socialdemocrata austríaco, do qual muitos membros do corpo docente eram simpatizantes. Portanto, era bem provável que Einstein fosse preterido para o cargo. Mas Adler surpreendeu a todos defendendo a escolha do adversário. Ele era um observador sagaz da natureza humana e avaliou Einstein corretamente. Escreveu com eloqüência sobre as capacidades excepcionais de Einstein como físico, mas observou: "Como estudante, ele foi tratado com desdém pelos professores. Ele não tem a menor noção de como conviver com pessoas importantes".[15] Graças ao sacrifício extraordinário de Adler, Einstein obteve o cargo e começou sua ascensão meteórica pela hierarquia acadêmica. Retornou a Zurique, dessa vez como professor, não como um desajustado e físico fracassado e desempregado. Ao encontrar um apartamento vago em Zurique, ficou encantado ao saber que Adler morava no andar de

baixo. Ambos se tornaram bons amigos.

Em 1909, Einstein deu sua aula inaugural em sua primeira grande conferência de física, em Salzburgo, a que compareceram vários luminares, inclusive Max Planck. Em sua palestra "O desenvolvimento de nossas concepções sobre a natureza e a constituição da radiação", apresentou convincentemente a equação $E = mc^2$ ao mundo. Einstein, acostumado a catar moedas para poder almoçar, maravilhou-se com a pompa da conferência. Recordou:

> Os festejos se encerraram no Hotel Nacional com o banquete mais opulento a que já fui na vida. Aquilo me encorajou a dizer ao aristocrata genebrino sentado do meu lado: Sabe o que Calvino teria feito se estivesse aqui? Teria erguido uma enorme estaca e nos queimado vivos por nossa extravagância pecaminosa. O homem não me dirigiu mais a palavra.[16]

A palestra de Einstein foi a primeira vez na história em que alguém apresentou claramente o conceito de "dualidade" em física, o conceito de que a luz pode ter propriedades duplas, quer como uma onda, conforme Maxwell havia sugerido no século anterior, quer como uma partícula, conforme Newton sugerira. A luz seria vista como partícula ou como onda de acordo com o experimento. Para experimentos de baixa energia, em que o comprimento de onda do raio de luz é grande, o modelo ondulatório era mais útil. Para raios de alta energia, em que o comprimento de onda da luz é extremamente pequeno, o modelo corpuscular era mais adequado. Esse conceito (que décadas depois seria atribuído ao físico dinamarquês Niels Bohr) revelou-se uma observação fundamental da natureza da matéria e da energia e uma das fontes mais ricas de pesquisa sobre a teoria quântica.

Se bem fosse agora um professor universitário, Einstein continuava desleixado como sempre. Um aluno recordou vivamente sua aula inaugural na Universidade de Zurique: "Ele apareceu na sala de aula com trajes meio surrados, calças curtas demais e carregando uma folha de papel do tamanho de um cartão de visita onde havia esboçado a aula".[17]

Em 1910, nasceu o segundo filho de Einstein, Eduard. Einstein, o incansável andarilho, já estava em busca de um cargo novo, aparentemente porque alguns professores queriam demiti-lo da universidade. No ano seguinte, o Instituto de Física Teórica da Universidade Alemã de Praga ofereceu-lhe um cargo com salário melhor. Ironicamente, seu escritório ficava perto de um asilo de loucos. Refletindo sobre os mistérios da física, muitas vezes se indagava se os internos é que seriam as pessoas sadias.

Naquele mesmo ano, 1911, realizou-se também a I Conferência de Solvay em Bruxelas, financiada pelo abastado industrial belga Ernest Solvay, que realçaria o trabalho dos principais cientistas do mundo. Aquela era a conferência mais importante da época, dando a Einstein a chance de se encontrar com os gigantes da física e trocar idéias com eles. Ele conheceu Marie Curie, duas vezes ganhadora do prêmio Nobel, com quem iniciou um relacionamento de vida inteira. A teoria da relatividade e sua teoria dos fótons constituíram o centro das atenções. O tema da conferência foi "A teoria da radiação e os *quanta*".

Uma questão debatida na conferência foi o famoso "paradoxo dos gêmeos". Einstein já havia mencionado os estranhos paradoxos que resultam do retardamento do tempo. O paradoxo dos

gêmeos foi proposto pelo físico Paul Langevin, que anunciou uma experiência imaginária simples que sondava algumas das contradições aparentes da teoria da relatividade. (Na época, os jornais estavam repletos de matérias sensacionalistas sobre Langevin, que, infeliz no casamento, se envolveu num romance escandaloso com a viúva Marie Curie.) Langevin imaginou dois gêmeos vivendo na Terra. Um é transportado quase à velocidade da luz e, depois, retorna à Terra. Cinqüenta anos, digamos, podem ter transcorrido na Terra, mas, como o tempo se retarda no foguete, o irmão viajante envelheceu somente dez anos. Quando os irmãos enfim se reencontram, suas idades não coincidem mais: o irmão viajante está quarenta anos mais novo.

Agora vejamos a situação do ponto de vista do irmão viajante. De sua perspectiva, ele está em repouso, e é a Terra que disparou, de modo que os relógios do irmão gêmeo na Terra se retardam. Quando os dois gêmeos enfim se reencontram, o que ficou na Terra deveria estar mais jovem, e não o irmão do foguete. Mas como os movimentos devem ser relativos, a pergunta é: qual irmão está realmente mais jovem? Como as duas situações parecem simétricas, este enigma até hoje permanece uma pedra no sapato de qualquer estudante que tenha tentado dominar a relatividade.

A resolução do enigma, como Einstein observou, é que o gêmeo viajante, e não o que ficou na Terra, acelerou. O foguete tem que diminuir a velocidade, parar e depois inverter a marcha, o que causa grande tensão sobre o irmão viajante. Em outras palavras, as situações não são simétricas, já que somente o irmão viajante sofre acelerações, que não são abrangidas pelas suposições subjacentes à relatividade restrita. Portanto, esse irmão é que está na verdade mais jovem.

(Entretanto, a situação fica mais complicada se o irmão viajante nunca voltar. Neste cenário, cada um vê pelo telescópio o outro irmão se retardando no tempo. Como as situações são agora perfeitamente simétricas, cada um está convencido de que o outro está mais jovem. De forma semelhante, cada gêmeo está convencido de que o outro está comprimido. Portanto, qual gêmeo está mais jovem e delgado? Por paradoxal que pareça, na teoria da relatividade é possível haver dois gêmeos, cada um mais jovem que o outro, cada um mais delgado que o outro. A maneira mais simples de descobrir quem está de fato mais delgado ou mais jovem em todos esses paradoxos é reunir os dois gêmeos, o que exige que um deles seja trazido, o que por sua vez determina qual gêmeo está "realmente" se movendo.

Embora esses paradoxos desconcertantes fossem indiretamente resolvidos a favor de Einstein no nível atômico por meio de estudos de raios cósmicos e desintegradores de átomos,* este efeito é tão ínfimo que só em 1971 veio a ter observação direta em laboratório, quando relógios atômicos viajaram a grandes velocidades em aviões. Como esses relógios conseguem medir a passagem do tempo com precisão astronômica, ao comparar os dois relógios os cientistas puderam verificar que o tempo avançava mais lentamente com o aumento da velocidade, da forma como Einstein previra.)

Outro paradoxo envolve dois objetos, um menor que o outro. Imagine um caçador tentando capturar um tigre de três metros de comprimento com uma jaula de apenas trinta centímetros de largura. Normalmente, isso seria impossível. Agora imagine que o tigre esteja correndo tão

rápido que encolha para apenas trinta centímetros, de modo que a jaula possa ser atirada e o tigre, capturado. Ao parar de repente, o tigre se expande. Se a jaula for feita de arame, o tigre arrebentará o arame. Se for feita de concreto, o pobre tigre morrerá esmigalhado.[18]

Mas agora vejamos a situação do ponto de vista do tigre. Se o tigre está em repouso, a jaula agora se move e encolheu para apenas três milímetros. Como uma jaula tão pequena consegue capturar um tigre de três metros de comprimento? A resposta é que, à medida que cai, a jaula encolhe na direção do movimento. Ela se torna um paralelogramo, um quadrado achatado. As duas extremidades da jaula, portanto, não atingem o tigre ao mesmo tempo. O que é simultâneo para o caçador não o é para o tigre. Se a jaula for feita de arame, a parte da frente da jaula atingirá o nariz do tigre primeiro e começará a se romper. À medida que cai, ela continua se rompendo ao longo do corpo do tigre, até que a parte de trás da jaula finalmente atinge a cauda. Se a jaula for feita de concreto, o nariz do tigre será esmigalhado primeiro. À medida que desce, ela continua esmigalhando o comprimento do corpo do tigre, até que a parte de trás da jaula enfim captura a cauda.

Esses paradoxos despertaram a imaginação do público, a ponto de a revista de humor *Punch* publicar uns versinhos sobre uma moça chamada Bright, capaz de ir bem além da velocidade da luz. Certo dia, ela parte em viagem — relativisticamente — para retornar... na noite anterior![19] **

Àquela altura, seu grande amigo Marcel Grossman, que se tornara professor da Politécnica, ofereceu a Einstein um cargo, agora como professor pleno, na sua antiga escola. Cartas de recomendação falavam de Einstein nos termos mais elogiosos. Marie Curie escreveu que "os físicos matemáticos são unânimes em considerar sua obra como de primeira grandeza".[20]

Assim, apenas dezesseis meses após chegar a Praga, ele retornou a Zurique e à velha Politécnica. Retornar à Politécnica (que em 1911 passou a se chamar Instituto Federal Suíço de Tecnologia, ou ETH), dessa vez como um professor famoso, representou uma vitória pessoal para Einstein. Ele havia deixado o instituto desacreditado, com professores como Weber sabotando ativamente sua carreira. Agora retornava como o líder de uma nova revolução em física. Naquele ano, foi indicado pela primeira vez para o prêmio Nobel de Física. Suas idéias ainda eram consideradas radicais demais para a academia sueca, e vozes dissidentes entre os premiados quiseram sabotar sua indicação. Em 1912, o prêmio Nobel não foi para Einstein, mas para Nils Gustaf Dalén, por seu trabalho no aperfeiçoamento dos faróis. (Por ironia, os faróis se tornaram quase obsoletos com a introdução do sistema de posicionamento global por satélite, que depende crucialmente da teoria da relatividade de Einstein.)

Decorrido mais um ano, a fama de Einstein crescia tão rápido que ele começou a receber convites de Berlim. Max Planck estava doido para atrair aquele astro em ascensão da física, e a Alemanha era líder inquestionável da pesquisa mundial naquela disciplina, concentrada sobretudo em Berlim. Einstein hesitou de início, já que havia renunciado à cidadania alemã e ainda guardava lembranças amargas da juventude, mas a oferta foi tentadora demais.

Em 1913, foi eleito para a Academia Prussiana de Ciências e, mais tarde, foi convidado para um cargo universitário em Berlim. Seria designado diretor do Instituto Kaiser Wilhelm de Física. Mas além dos títulos, que significavam pouco para ele, o que tornava a oferta

especialmente atraente era não ter a obrigação de lecionar. (Conquanto Einstein fosse um palestrante popular entre os estudantes, conhecido por tratar os alunos com respeito e gentileza, o magistério afastava-o de seu interesse principal, a relatividade geral.)

Em 1914, Einstein chegou a Berlim para conhecer o corpo docente. Sentiu-se um tanto nervoso ao ser examinado por eles. Einstein escreveria: "Os cavalheiros em Berlim estão apostando em mim como se eu fosse uma galinha de raça. Quanto a mim, não sei nem se vou chegar a pôr mais um ovo".[21] O rebelde de 35 anos, com uma posição política estranha e trajes mais estranhos ainda, logo teve de se adaptar aos costumes rígidos e aristocráticos da academia prussiana de ciências, cujos membros designavam uns aos outros de "conselheiro privado" ou "Vossa Excelência". Einstein refletiria: "Parece que a maioria dos membros se restringe a pavonear-se nos escritos; no resto, são totalmente humanos".[22]

A marcha triunfante de Einstein do escritório de patentes em Berna para os altos escalões da pesquisa alemã teve seu preço pessoal. À medida que sua fama aumentava na comunidade científica, sua vida pessoal começou a degringolar. Aqueles foram os anos mais produtivos de Einstein, gerando frutos que acabariam reformulando a história humana, e as exigências quase insuportáveis não lhe deixavam tempo livre, afastando-o da esposa e dos filhos.

Einstein escreveu que viver com Mileva era como viver num cemitério, e em casa tentava evitar ficar no mesmo aposento que ela. Seus amigos estavam divididos quanto ao culpado. Muitos acreditavam que Mileva se tornava cada vez mais anti-social e ressentida da fama do marido. Mesmo os amigos de Mileva estavam angustiados com seu envelhecimento naqueles anos e a flagrante deterioração de sua aparência. Ela estava ficando cada vez mais estridente e fria, com ciúme até das horas que ele passava com os colegas. Ao descobrir uma carta de congratulações enviada a Einstein por Anna Schmid (que conhecera Einstein durante sua breve estada em Aarau e desde então já estava casada), explodiu de raiva, precipitando talvez uma das piores brigas de seu abalado casamento.

Já outros acreditavam que Einstein estava longe de ser o marido perfeito. Constantemente em viagem, deixava Mileva criar os filhos quase sozinha. No início do século xx, as viagens eram bem complicadas, e a freqüência delas fazia com que se afastasse por dias e semanas. Nas raras vezes em que estava em casa, encontravam-se apenas brevemente para jantar ou ir ao teatro. Ele estava tão imerso no mundo abstrato da matemática que restava pouca energia emocional para se dedicar à esposa. O pior é que, quanto mais ela reclamava das ausências do marido, mais ele recuava para o mundo da física.

Podemos dizer com certa segurança que os dois pontos de vista têm um fundo de verdade e que é inútil jogar a culpa em alguém. A uma visão retrospectiva, era provavelmente inevitável que o casamento sofresse enormes tensões. Talvez seus amigos estivessem certos, anos atrás, quando disseram que os dois eram incompatíveis.

Mas o rompimento definitivo se precipitou com a aceitação da oferta de Berlim. Mileva relutou em ir para Berlim. Ser uma eslava no centro de uma cultura teutônica talvez fosse intimidante demais para ela. Mais importante, muitos familiares de Einstein moravam em Berlim, e Mileva teve medo de encarar aqueles olhares duros e desaprovadores. Todo mundo sabia que os sogros a detestavam. De início, Mileva e os filhos viajaram para Berlim com

Einstein, mas de repente ela partiu para Zurique, levando consigo os filhos. Eles nunca mais se juntariam. Einstein, que tinha verdadeira adoração pelos filhos, ficou arrasado. Daquele ponto em diante, foi forçado a manter um relacionamento distante com eles, fazendo a cansativa viagem de dez horas de Berlim a Zurique para as visitas. (Quando Mileva obteve a guarda das crianças, a secretária de Einstein, Helen Dukas, escreveu que ele chorou durante todo o trajeto para casa.)

Mas o que também deve ter precipitado a ruptura foi a presença crescente de uma prima de Einstein em Berlim. Ele confessaria: "Vivo uma vida muito reservada, mas não uma vida solitária, graças aos cuidados de uma prima, que foi quem me atraiu originalmente para Berlim".[23]

Elsa Lowenthal era duplamente prima: sua mãe era irmã da mãe de Einstein, e seus avôs eram irmãos. Era divorciada, e morava com as duas filhas, Margot e Ilse, no andar de cima da residência dos pais (o tio e a tia de Einstein). Ela e Einstein tiveram um breve encontro em 1912, quando ele visitou Berlim. Àquela altura, o cientista parecia convencido de que o casamento com Mileva estava no fim e que o divórcio era inevitável. No entanto, temia as repercussões de um divórcio sobre os filhos ainda pequenos.

Desde que eram crianças, Elsa gostava de Einstein. Ela confessou que se apaixonou por ele quando mocinha ao ouvi-lo tocar Mozart. Mas o que aparentemente mais a atraiu foi seu estrelato crescente no mundo acadêmico, o respeito que os físicos do mundo inteiro lhe dispensavam. Na verdade, não escondia de ninguém que adorava viver à sombra dessa fama. Como Mileva, ela era mais velha que Einstein: quatro anos. Mas a semelhança terminava aqui. No resto, eram como pólos opostos. Ao fugir de Mileva, Einstein parecia dar uma guinada para a outra direção. Enquanto Mileva não costumava cuidar da aparência e dava a impressão de estar constantemente perturbada, Elsa era burguesa ao extremo e bastante ciente da sua posição social. Procurava cultivar amizades nos círculos intelectuais de Berlim e apresentava orgulhosamente Einstein a todos os amigos da alta sociedade. Ao contrário de Mileva, que era lacônica, reservada e instável, Elsa era sociável e gostava de freqüentar jantares e estréias teatrais. E, ao contrário de Mileva, que desistiu de tentar "civilizar" o marido, Elsa agia como uma mãe, continuamente corrigindo seus modos, enquanto dedicava todas as energias a ajudá-lo a cumprir seu destino. Um jornalista russo mais tarde sintetizou o relacionamento entre Einstein e Elsa:

> Ela mostra grande afeto pelo marido importante, sempre pronta a protegê-lo das intromissões duras da vida e assegurar a paz de espírito necessária para o amadurecimento de suas grandes idéias. Está plenamente consciente de seu projeto grandioso como pensador e repleta dos sentimentos mais afetuosos de companheira, esposa e mãe para com um filho notável, delicado e crescido.[24]

Depois que Mileva abandonou Berlim, em 1915, levando consigo as crianças, Einstein e Elsa se aproximaram cada vez mais. O que dominava Einstein durante esse período importante, porém, não era o amor, mas o próprio universo.

* Desintegradores de átomos é o termo coloquial para os aceleradores de partículas, enormes máquinas onde partículas são aceleradas a grandes velocidades antes de se chocarem com tremenda energia. [N. R. T.]

** Os versinhos, no original: “There once was a young lady named Bright/ Who could travel much faster than light/ She set out one day, in a relative way/ And came back the previous night.” [N. T.]

PARTE II
SEGUNDO QUADRO
ESPAÇO-TEMPO DEFORMADO

CAPÍTULO 4
RELATIVIDADE GERAL E O "PENSAMENTO MAIS FELIZ DA MINHA VIDA"

Einstein ainda não estava satisfeito. Embora já fosse considerado um dos maiores físicos da época, mostrava-se inquieto. Percebeu que havia pelo menos dois furos gritantes na teoria da relatividade. Primeiro, ela se baseava inteiramente em movimentos inerciais. Na natureza, porém, quase nada é inercial. Tudo está num estado de aceleração constante: o sacolejar dos trens, os ziguezagues de folhas em queda, a rotação da Terra ao redor do Sol, o movimento dos corpos celestes. A teoria da relatividade não conseguia explicar sequer a aceleração mais comum encontrada na Terra.

Segundo, a teoria nada dizia sobre a gravidade. Apesar da pretensão ambiciosa de ser uma simetria universal da natureza, aplicável a todos os setores do universo, a gravidade parecia além de seu alcance. Isso era bem constrangedor, porque a gravidade está em toda parte. As deficiências da relatividade eram óbvias. Como a velocidade da luz era a velocidade máxima do universo, a teoria da relatividade previa que seriam necessários oito minutos para qualquer distúrbio no Sol atingir a Terra. Isto, porém, contradizia a teoria da gravidade de Newton, que afirmava que os efeitos gravitacionais eram instantâneos. (A velocidade da gravidade de Newton era infinita, já que a velocidade da luz não aparece em parte alguma das equações de Newton.) Einstein, portanto, precisava reformular totalmente as equações de Newton a fim de incorporar a velocidade da luz.

Em suma, ele percebeu a imensidão do problema de generalizar sua teoria da relatividade para incluir acelerações e gravidade. Começou a chamar sua teoria anterior de 1905 de "teoria da relatividade restrita", para diferenciá-la da "teoria da relatividade geral", mais poderosa, necessária para descrever a gravidade. Quando comentou com Max Planck o seu programa ambicioso, este o advertiu: "Como um amigo mais velho, devo aconselhá-lo negativamente, pois, primeiro, você não terá sucesso, e, ainda que tenha, ninguém acreditará em você".[1] Mas Planck também percebeu a importância do problema ao dizer: "Se você tiver sucesso, será considerado o novo Copérnico".

O insight básico para uma nova teoria da gravidade ocorreu enquanto Einstein ainda se ocupava dos pedidos de patentes, como um funcionário público subalterno, em 1907. Ele recordaria:

> Eu estava sentado numa cadeira no escritório de patentes de Berna quando, de repente, um pensamento me ocorreu: uma pessoa em queda livre não sentirá seu próprio peso. Fiquei surpreso. Esse pensamento simples impressionou-me profundamente. Impeliu-me para uma teoria da gravitação.[2]

Num átimo, Einstein percebeu que se tivesse caído da cadeira, ficaria momentaneamente sem peso. Por exemplo, caso esteja num elevador e o cabo subitamente se rompa, você estará em queda livre. Cairá na mesma velocidade do chão do elevador. Como tanto você quanto o elevador agora caem à mesma velocidade, você teria a impressão de não ter peso, de estar flutuando no ar. Da mesma forma, Einstein percebeu que, se caísse da cadeira, estaria em queda livre, e o efeito da gravidade seria perfeitamente cancelado por sua aceleração, fazendo com que parecesse sem peso.

Este é um conceito antigo. Era conhecido por Galileu, que, numa história apócrifa, teria soltado uma pedra pequena e uma bala de canhão bem grande da Torre Inclinada de Pisa. Ele foi o primeiro a mostrar que todos os objetos na Terra aceleram exatamente à mesma razão sob a gravidade (9,75 metros por segundo quadrado).* Newton também sabia desse fato ao perceber que os planetas e a Lua estavam, na verdade, num estado de queda livre em suas órbitas ao redor do Sol ou da Terra. Todo astronauta que já tenha sido lançado ao espaço também percebe que a gravidade pode ser cancelada pela aceleração. Dentro de uma nave espacial, tudo — inclusive o chão, os instrumentos e você — cai à mesma velocidade. Desse modo, ao olhar à sua volta, você vê tudo flutuando. Seus pés oscilam acima do chão, dando a ilusão de que a gravidade sumiu, porque o chão está caindo junto com seu corpo. E se um astronauta der um passeio espacial fora da nave, não cairá de repente rumo à Terra, mas flutuará suavemente junto da nave, porque tanto a nave como o astronauta estão caindo de modo sincronizado, mesmo enquanto orbitam ao redor da Terra. (A gravidade na verdade não desapareceu no espaço, como afirmam erroneamente muitos livros de ciência. A gravidade do Sol é poderosa o bastante para impelir o planeta Plutão em sua órbita a bilhões de quilômetros da Terra. A gravidade não desapareceu; ela apenas foi cancelada pela queda da nave sob seus pés.)

Trata-se do "princípio da equivalência", pelo qual todas as massas caem à mesma velocidade sob a gravidade (mais precisamente, a massa inercial é igual à massa gravitacional). Essa era uma idéia antiga, quase uma curiosidade para Galileu e Newton, mas nas mãos de um físico habilidoso como Einstein se tornaria a base de uma nova teoria relativística da gravidade. Einstein deu um passo gigantesco à frente de Galileu e Newton. Ele formulou seu próximo postulado, o postulado subjacente à relatividade geral: *As leis da física em um referencial em aceleração ou um referencial em gravitação são indistinguíveis.* De modo notável, esta afirmação simples se tornou, nas mãos de Einstein, a base de uma teoria que nos daria o espaço deformado, os buracos negros e a criação do universo.

Após esse insight brilhante de 1907, no escritório de patentes, a gestação da nova teoria da gravidade de Einstein levou anos. Um novo modelo da gravidade estava emergindo do princípio da equivalência, mas foi somente em 1911 que ele começou a publicar os frutos de seus pensamentos. A primeira conseqüência do princípio da equivalência é o fato de que a luz

deve se curvar sob a gravidade. A idéia de que a gravidade poderia influenciar raios de luz é antiga, remontando pelo menos à época de Isaac Newton. Em seu livro *Opticks*, ele perguntou se a gravidade pode ou não influenciar a luz das estrelas: "Os corpos não agem sobre a luz à distância, e por sua ação curvam seus raios; e esta ação não é mais forte quanto menor a distância?".[3] Infelizmente, dada a tecnologia do século XVII, ele não pôde dar a resposta.

Mas agora, decorridos mais de duzentos anos, Einstein retornou a essa pergunta. Imagine uma lanterna sendo acesa dentro de um foguete que está acelerando no espaço. Como o foguete está acelerando para cima, o raio de luz pende para baixo. Agora invoque o princípio da equivalência. Como a física dentro do foguete deve ser indistinguível da física na Terra, segue-se que a *gravidade deve também curvar a luz*. Em poucos passos breves, Einstein foi levado a um fenômeno físico novo: a curvatura da luz devido à gravidade. Percebeu imediatamente que tal efeito era calculável.

O maior campo gravitacional no sistema solar é gerado pelo Sol. Portanto, Einstein se perguntou se o Sol era suficiente para curvar a luz de estrelas distantes. Isto poderia ser testado tirando-se duas fotografias do mesmo conjunto de estrelas no céu em duas épocas diferentes. A primeira foto dessas estrelas seria tirada à noite, quando a luz estelar não é perturbada; a segunda, vários meses depois, quando o Sol está posicionado bem na frente desse mesmo conjunto de estrelas. Comparando-se as duas fotografias, seria possível medir o deslocamento ligeiro das estrelas na vizinhança do Sol devido à gravidade solar. Como o Sol ofusca a luz advinda das estrelas, qualquer experimento sobre a curvatura da luz estelar teria que ser realizado durante um eclipse solar, quando a Lua bloqueia a luz do Sol e as estrelas se tornam visíveis durante o dia. Einstein raciocinou que fotografias do céu diurno tiradas durante um eclipse, comparadas com fotografias do mesmo céu à noite, deveriam mostrar uma distorção ligeira da localização das estrelas na vizinhança do Sol. (A presença da Lua também curva um pouco a luz estelar, devido à gravidade da Lua, mas num grau minúsculo comparado com a curvatura causada pelo Sol, que é bem maior. Assim, a curvatura da luz estelar durante um eclipse não é afetada pela presença da Lua.)

O princípio da equivalência podia ajudá-lo a calcular o movimento aproximado de raios de luz ao serem atraídos pela gravidade, mas continuava sem nada informar sobre a própria gravidade. O que faltava era uma *teoria do campo da gravidade.* Lembre-se de que as equações de Maxwell descrevem uma teoria do campo genuína, em que linhas de força são como uma teia de aranha capaz de vibrar e suportar ondas deslocando-se ao longo de linhas de força. Einstein buscava um campo gravitacional cujas linhas de força pudessem suportar vibrações gravitacionais deslocando-se à velocidade da luz.

Por volta de 1912, após anos de pensamento acumulado, ele aos poucos começou a perceber que precisava reformular nossa compreensão de espaço e tempo, o que exigia geometrias novas além daquelas herdadas dos gregos antigos. A observação-chave que o lançou no caminho do espaço-tempo curvo foi um paradoxo, às vezes denominado "paradoxo de Ehrenfest", que seu amigo Paul Ehrenfest certa vez apresentou para Einstein. Imagine um carrossel simples ou um disco girante. Em repouso, sabemos que sua circunferência é igual a p vezes o diâmetro. No entanto, uma vez que o carrossel seja posto em movimento, a borda externa se desloca mais

rapidamente que a interna. Portanto, de acordo com a relatividade, a borda externa deveria encolher mais que a interna, distorcendo a forma do carrossel. Isto significa que a circunferência encolheu e agora é menor que p vezes o diâmetro; ou seja, a superfície já não é mais plana. *O espaço é curvo*. A superfície do carrossel pode ser comparada à área dentro do Círculo Polar Ártico. Podemos medir o diâmetro do Círculo Polar Ártico caminhando a partir de um ponto, passando pelo Pólo Norte, até o ponto oposto no círculo. Depois podemos medir a circunferência do Círculo Polar Ártico. Se compararmos as duas medidas, veremos também que a circunferência é menor que p vezes o diâmetro porque a superfície da Terra é curva. Mas, nos últimos 2 mil anos, os físicos e matemáticos confiaram na geometria de Euclides, que se baseia em superfícies *planas*. O que aconteceria se imaginassem uma geometria baseada em superfícies *curvas*?

Uma vez que percebemos que o espaço pode ser curvo, uma imagem nova e surpreendente vem à tona. Imagine uma pedra pesada colocada sobre uma cama. Claro que a pedra afundará na cama. Agora jogue uma bola de gude sobre a cama. Ela não se moverá em linha reta, mas numa linha curva ao redor da pedra. Há duas maneiras de analisar esse efeito. De longe, um newtoniano poderia dizer que existe uma "força" misteriosa que emana da pedra até a bola de gude, forçando-a a mudar sua trajetória. Essa força, embora invisível, exerce uma atração sobre a bola de gude. No entanto, um relativista pode ver um quadro totalmente diferente. Para um relativista que vê a cama de perto, não existe nenhuma força que atrai a bola de gude. Existe apenas a depressão na cama, que determina o movimento da bola de gude. Conforme a bola de gude se move, a superfície da cama "impele-a" até atingir um movimento circular.

Agora substitua a pedra pelo Sol, a bola de gude pela Terra e a cama por espaço e tempo. Newton diria que uma força invisível chamada "gravidade" atrai a Terra ao redor do Sol. Einstein responderia que não existe atração gravitacional. A Terra é deflectida ao redor do Sol porque a curvatura do *próprio espaço* está impelindo a Terra. Em certo sentido, a gravidade não atrai, mas o espaço impele.

Com essa imagem, Einstein pôde explicar por que qualquer perturbação no Sol levaria oito minutos até atingir a Terra. Por exemplo, se removermos de repente a pedra, a cama voltará à forma normal, criando ondulações que se deslocam através da cama a uma velocidade definida. De forma semelhante, se o Sol viesse a desaparecer, criaria uma onda de choque do espaço curvo que se deslocaria à velocidade da luz. Essa imagem era tão simples e concisa que Einstein conseguiu explicar a idéia essencial ao seu segundo filho, Eduard, que perguntou por que ele era tão famoso. Einstein respondeu: "Quando um besouro cego rasteja na superfície de um galho curvo, ele não nota que o percurso que seguiu é realmente curvo. Tive a sorte de perceber o que o besouro não percebeu.[4]"

Newton, em seu memorável *Philosophiae naturalis principia mathematica*, confessou-se incapaz de explicar a origem dessa atração misteriosa, que agia instantaneamente através do universo. Ele cunhou sua frase famosa "*Hypotheses non fingo*" ("Não invento hipóteses") devido à incapacidade de explicar de onde vinha a gravidade. Com Einstein, vemos que a gravidade é causada pela curvatura de espaço e tempo. A "força" revela-se agora uma ilusão, um subproduto da geometria. Nesse quadro, estamos presos à Terra não porque a gravidade da

Terra nos puxa para baixo. De acordo com Einstein, não existe atração gravitacional. A Terra deforma o *continuum* de espaço-tempo ao redor de nossos corpos, de modo que o próprio espaço nos empurra para o chão. Desse modo, é a presença de matéria que deforma o espaço à sua volta, dando a ilusão de que existe uma força gravitacional atraindo os objetos vizinhos.

Naturalmente essa curvatura é invisível e, à distância, o quadro de Newton parece correto. Imagine formigas caminhando sobre uma folha de papel amarrotada. Tentando seguir uma linha reta, elas se vêem constantemente desviadas para a esquerda e a direita ao caminharem sobre as dobras no papel. Para as formigas, parece que uma força misteriosa as puxa em ambas as direções. Entretanto, para quem observa as formigas de cima, é óbvio que não existe nenhuma força: existe apenas a curvatura do papel desviando as formigas, dando a ilusão de que há uma força. Lembre-se de que Newton imaginou espaço e tempo como um referencial absoluto para todos os movimentos. Contudo, para Einstein, espaço e tempo podiam assumir um papel dinâmico. Se o espaço é curvo, quem se movesse nesse palco pensaria que forças misteriosas estariam agindo sobre seu corpo, desviando-o numa ou noutra direção.

Comparando o espaço-tempo a um tecido que pode se esticar e curvar, Einstein foi forçado a estudar a matemática das superfícies curvas. Logo se viu imerso num lodaçal matemático, incapaz de descobrir a ferramenta correta para analisar seu novo modelo da gravidade. Em certo sentido, Einstein, que outrora zombara da matemática como "erudição supérflua", estava agora pagando pelos anos em que matara as aulas de matemática na Politécnica.

Desesperado, recorreu ao amigo Marcel Grossman. "Grossman, você tem que me ajudar, senão vou ficar maluco!"[5] Einstein confessou: "Nunca na minha vida me atormentei tanto quanto agora, e me imbuí de um grande respeito pela matemática, cujas partes mais sutis eu antes encarara como mero luxo! Comparada com esse problema, a teoria da relatividade original é brincadeira de criança.[6]"

Ao examinar a literatura matemática, Grossman descobriu que, por ironia, a matemática básica de que Einstein precisava havia sido realmente ensinada na Politécnica. Na geometria de Bernhard Riemann, desenvolvida em 1854, Einstein enfim encontrou a matemática poderosa o bastante para descrever a curvatura do espaço-tempo. (Anos depois, ao recordar como foi difícil dominar aquela matemática nova, Einstein observou para alguns alunos do curso secundário: "Não se preocupem com as suas dificuldades em matemática; posso assegurar que as minhas são ainda maiores".[7])

Antes de Riemann, a matemática se baseava na geometria euclidiana, a geometria das superfícies planas. Por muito tempo os alunos de colégio tiveram que decorar os teoremas consagrados da geometria grega, aqueles em que a soma dos ângulos internos de um triângulo é 180 graus, e linhas paralelas nunca se encontram. Dois matemáticos, o russo Nikolai Lobatchevski e o austro-húngaro János Bolyai, chegaram bem perto de desenvolver uma geometria não-euclidiana — aquela em que a soma dos ângulos de um triângulo pode ser superior ou inferior a 180 graus. Mas a teoria da geometria não-euclidiana foi enfim desenvolvida pelo "príncipe da matemática" Carl Friedrich Gauss, e especialmente por seu aluno Riemann. (Gauss suspeitou que a teoria de Euclides pudesse estar errada até por motivos físicos. Ele mandou seus assistentes emitirem raios de luz do alto das montanhas Harz,

tentando calcular experimentalmente a soma dos ângulos de um triângulo formado por três cumes de montanha. Infelizmente, não teve sorte no resultado. Gauss também era um indivíduo politicamente tão prudente que nunca publicou seu trabalho sobre esse tema melindroso, temendo a ira dos conservadores adeptos da geometria euclidiana.)

Riemann descobriu mundos da matemática inteiramente novos: a geometria das superfícies curvas em qualquer dimensão, não apenas duas ou três dimensões espaciais. Einstein convenceu-se de que aquelas geometrias superiores produziriam uma descrição mais exata do universo. Pela primeira vez, a linguagem matemática da "geometria diferencial" alcançava o mundo da física. A geometria diferencial, ou cálculo dos tensores, a matemática das superfícies curvas em qualquer dimensão, costumava ser considerada o ramo mais "inútil" da matemática, destituído de qualquer conteúdo físico. Subitamente, transformou-se na linguagem do próprio universo.

Na maioria das biografias, a teoria da relatividade geral de Einstein aparece como plenamente desenvolvida em 1915, como se, por um passe de mágica, ele encontrasse a teoria já formada. Entretanto, só nas últimas décadas alguns dos "cadernos perdidos" de Einstein foram analisados, e eles preenchem as muitas lacunas entre 1912 e 1915. Agora é possível reconstituir, por vezes mês a mês, a evolução crucial de uma das maiores teorias de todos os tempos. Em particular, ele queria generalizar a noção de co-variância. A relatividade restrita, como vimos, baseava-se na idéia da co-variância de Lorentz: as equações da física conservam a mesma forma sob uma transformação de Lorentz. Agora Einstein pretendia generalizar isso para todas as acelerações e transformações possíveis, não apenas as inerciais. Em outras palavras, queria equações que conservassem a mesma forma, qualquer que fosse o referencial usado, quer estivesse acelerando ou se movendo em velocidade constante. Cada referencial, por sua vez, requer um sistema de coordenadas para medir as três dimensões do espaço e o tempo. O que Einstein desejava era uma teoria que conservasse sua forma, fossem quais fossem as coordenadas de distância e tempo usadas para medir o referencial. Isso o levou ao famoso princípio da co-variância geral: *as equações da física precisam ser geralmente co-variantes* (isto é, precisam conservar a mesma forma sob uma mudança arbitrária de coordenadas).

Imagine, por exemplo, que você atire uma rede de pescar sobre uma mesa. A rede representa um sistema de coordenadas arbitrário, e a área do tampo da mesa representa algo que permanece invariável sob qualquer distorção da rede. Por mais que torçamos ou enrolemos a rede, a área do tampo da mesa permanece a mesma.

Em 1912, ciente de que a matemática de Riemann era a linguagem correta para a gravitação, e guiado pela lei da co-variância geral, Einstein procurou na geometria de Riemann objetos que fossem geralmente co-variantes. Para sua surpresa, havia apenas dois objetos co-variantes disponíveis para ele: o volume de um espaço curvo e a curvatura (denominada "curvatura de Ricci") de tal espaço. Isso foi de grande valia: por restringir de modo rigoroso os elementos possíveis para desenvolver uma teoria da gravidade, o princípio da co-variância geral levou Einstein a formular a teoria essencialmente correta em 1912, poucos meses apenas após examinar o trabalho de Riemann, baseado na curvatura de Ricci. Por algum motivo, porém, ele rejeitou a teoria correta em 1912 e começou a perseguir uma idéia errada. O motivo exato por

que abandonou a teoria correta era um mistério para os historiadores até recentemente, quando os cadernos perdidos foram descobertos. Naquele ano, quando desenvolveu a essência da teoria da gravidade correta com base na curvatura de Ricci, Einstein cometeu um erro crucial: pensou que aquela teoria correta violasse o denominado "princípio de Mach".[8] Uma versão particular desse princípio postula que a presença de matéria e energia no universo determina univocamente o campo gravitacional à sua volta. Uma vez que você fixe certa configuração de planetas e estrelas, a gravitação em torno desses planetas e estrelas é fixa. Imagine, por exemplo, que você atira uma pedra em uma lagoa. Quanto maior a pedra, maiores as ondulações na lagoa. Desse modo, uma vez que saibamos o tamanho preciso da pedra, a distorção da lagoa pode ser univocamente determinada. De forma semelhante, se sabemos a massa do Sol, podemos determinar univocamente o campo gravitacional ao redor do Sol.

Foi aí que Einstein cometeu seu erro. Ele pensou que a teoria baseada na curvatura de Ricci violasse o princípio de Mach porque a presença de matéria e energia não especificava univocamente o campo gravitacional ao seu redor. Com o amigo Marcel Grossman, tentou desenvolver uma teoria mais modesta, que fosse co-variante apenas sob rotações (mas não acelerações gerais). No entanto, ao abandonar o princípio da co-variância, Einstein ficou sem uma orientação clara e passou três anos frustrantes perdido no emaranhado da difusa e inútil teoria de Einstein-Grossman — por exemplo, ela não gerava equações de Newton para campos gravitacionais pequenos. Dotado de um instinto físico superior ao de qualquer outra pessoa, dessa vez Einstein o ignorou.

Na busca das equações finais, Einstein concentrou-se em três experimentos básicos que poderiam comprovar suas idéias sobre o espaço curvo e a gravidade: a curvatura da luz estelar durante um eclipse, o desvio para o vermelho e o periélio de Mercúrio. Em 1911, mesmo antes de seu trabalho sobre o espaço curvo, Einstein tinha esperança de que uma expedição pudesse ser enviada à Sibéria durante o eclipse solar de 21 de agosto de 1914 para detectar a curvatura da luz estelar pelo Sol.

O astrônomo Erwin Finlay Freundlich deveria investigar o eclipse. Einstein estava tão convencido do acerto de seu trabalho que, de início, se ofereceu para financiar do próprio bolso o projeto ambicioso. "Se tudo falhar, pagarei esse negócio com minhas próprias parcas economias, pelo menos os primeiros 2 mil marcos", escreveu.[9] Mas um industrial abastado acabou concordando em fornecer os recursos. Freundlich partiu para a Sibéria um mês antes do eclipse solar. No entanto, a Alemanha declarou guerra à Rússia, e ele e seu auxiliar foram aprisionados e seu equipamento, confiscado. (A uma visão retrospectiva, talvez tenha sido bom para Einstein que a expedição de 1914 malograsse. Se o experimento fosse realizado, os resultados não teriam se ajustado com o valor previsto pela sua teoria incorreta, e todo seu projeto poderia ter ido por água abaixo.)

Em seguida, Einstein calculou como a gravidade afetaria a freqüência de um raio de luz. Se um foguete é lançado da Terra ao espaço, a gravidade da Terra age como uma força contrária, puxando o foguete de volta. A luta do foguete contra a atração da gravidade acarreta uma perda de energia. De forma semelhante, Einstein raciocinou que a luz emitida pelo Sol também

sofreria a ação contrária da gravidade, fazendo com que o raio de luz perdesse energia. Ele não muda de velocidade, mas a freqüência da onda diminui à medida que o raio de luz perde energia na luta contra a gravidade do Sol. Desse modo, a luz amarela do Sol diminui de freqüência, tornando-se mais vermelha conforme o raio de luz se afasta da atração gravitacional do Sol. O desvio gravitacional para o vermelho, porém, é um efeito extremamente pequeno, e Einstein não tinha esperança de que viesse a ser testado tão cedo. (Na verdade, mais quatro décadas decorreriam até que se conseguisse ver em laboratório o desvio gravitacional para o vermelho .)

Por último, ele tentou solucionar um problema antigo: por que a órbita de Mercúrio oscila e se desvia ligeiramente das leis de Newton? Normalmente, os planetas perfazem elipses perfeitas em seus deslocamentos ao redor do Sol, com exceção de distúrbios ligeiros causados pela gravidade dos planetas próximos, resultando numa trajetória semelhante às pétalas de uma margarida. A órbita de Mercúrio, porém, mesmo depois de descontada a interferência dos planetas próximos, mostrava um desvio pequeno, mas nítido, em relação às leis de Newton. Esse desvio, chamado de "precessão de periélio", foi observado pela primeira vez em 1859 pelo astrônomo Urbain Leverrier, que calculou um desvio minúsculo de 43,5 segundos de arco por século, inexplicável pelas leis de Newton. (Uma discrepância aparente em relação às leis do movimento de Newton não era novidade. No início do século XIX, os astrônomos, intrigados com uma oscilação semelhante da órbita de Urano, viram-se ante um dilema: ou bem abandonar as leis do movimento, ou bem postular a existência de outro planeta desconhecido que afetava a órbita de Urano. Os físicos deram um suspiro de alívio com a descoberta, em 1846, de um planeta novo, batizado de Netuno, exatamente onde as leis de Newton previam que deveria estar.)

Mas restava o enigma de Mercúrio. Em vez de descartar Newton, os astrônomos, seguindo a velha tradição, postularam a existência de um planeta novo chamado "Vulcano", girando ao redor do Sol dentro da órbita de Mercúrio. Contudo, em buscas constantes pelo céu noturno, os astrônomos não conseguiam achar nenhum sinal de tal planeta.

Einstein estava preparado para aceitar a interpretação mais radical: talvez as próprias leis de Newton estivessem incorretas, ou pelo menos incompletas. Em novembro de 1915, após desperdiçar três anos com a teoria de Einstein-Grossman, retornou à curvatura de Ricci, que havia descartado em 1912, e descobriu qual havia sido seu erro básico. (Einstein havia abandonado a curvatura de Ricci porque uma porção de matéria gerava mais de um campo gravitacional, em aparente violação ao princípio de Mach. Mas agora, devido à co-variância geral, percebeu que aqueles campos gravitacionais eram matematicamente equivalentes e produziam o mesmo resultado físico. Einstein convenceu-se do poder da co-variância geral: além de restringir rigorosamente as teorias da gravidade possíveis, gerava resultados físicos únicos, porque muitas soluções gravitacionais eram equivalentes.[10])

Talvez na maior concentração mental de sua vida, Einstein fez um esforço sobre-humano em sua equação final, evitando qualquer distração e trabalhando incessantemente para ver se conseguia derivar o periélio de Mercúrio. Seus cadernos perdidos mostram que ele propunha muitas vezes uma solução para depois verificar implacavelmente se ela reproduzia a velha

teoria de Newton no limite de campos gravitacionais pequenos. Essa tarefa era tediosa ao extremo, já que suas equações tensoriais consistiam em dez equações diferentes, em vez da equação única de Newton. Se uma falhasse, ele tentava outra solução para ver se ela reproduzia a equação de Newton. Essa tarefa exaustiva, quase hercúlea, enfim terminou no final de novembro de 1915, deixando Einstein totalmente esgotado. Após um cálculo longo e tedioso com sua teoria antiga de 1912, Constatou que ela previa o desvio da órbita de Mercúrio em 42,9 segundos de arco por século, bem dentro dos limites experimentais aceitáveis. Einstein ficou atônito. Aquilo era muito animador, o primeiro indício experimental sólido de que sua teoria nova estava correta. "Por alguns dias, fiquei fora de mim de entusiasmo", recordou.[11] "Meus sonhos mais ousados agora se cumpriam." O sonho de uma vida, encontrar as equações relativísticas para a gravidade, se realizou.

O que empolgou Einstein foi que, através do princípio físico e matemático abstrato da co-variância geral, ele pôde derivar um resultado experimental sólido e decisivo: "Imagine minha euforia com a praticabilidade da co-variância geral e com o fato de que as equações produzem corretamente o movimento do periélio de Mercúrio".[12] Com a nova teoria, ele então recalculou a curvatura da luz estelar pelo Sol. O acréscimo do espaço curvo à sua teoria resultou numa resposta final de 1,7 segundo de arco, duas vezes seu valor original (cerca de 1/2000 de um grau).

Ele estava convencido de que a teoria era tão simples, elegante e poderosa que nenhum físico conseguiria escapar de seu poder hipnótico. "Dificilmente alguém que a tenha de fato entendido conseguirá escapar do encanto dessa teoria", escreveria. "A teoria é de uma beleza incomparável."[13] Milagrosamente, o princípio da co-variância geral era uma ferramenta tão poderosa que a equação final, que descreveria a estrutura do próprio universo, teria apenas 2,5 centímetros de comprimento. (Os físicos atuais ficam maravilhados com o fato de que uma equação tão curta consiga reproduzir a criação e a evolução do universo. O físico Victor Weisskopf comparou essa sensação de encantamento com a história de um camponês que viu um trator pela primeira vez na vida. Após examinar a máquina e espiar dentro da cabine, ele pergunta perplexo: "Mas cadê o cavalo?".)

O único incidente que atrapalhou o triunfo de Einstein foi uma pequena briga pela precedência com David Hilbert, talvez o maior matemático do mundo na época. Quando a teoria estava na reta final, Einstein deu uma série de seis palestras de duas horas em Göttingen para Hilbert. Einstein ainda não dominava certas ferramentas matemáticas (chamadas de "identidades de Bianchi"), o que o impedia de derivar suas equações a partir de uma forma simples, chamada de "ação". Mais tarde, Hilbert completou o último passo do cálculo, pôs a ação no papel e publicou o resultado final por si mesmo, apenas seis dias na frente de Einstein. Einstein ficou contrariado. Achou que Hilbert tentou se apropriar da teoria da relatividade geral, completando a etapa final e ficando com o mérito. A rixa entre Einstein e Hilbert acabou sendo superada, mas Einstein ficou temeroso de compartilhar seus resultados tão liberalmente. (Hoje em dia, a ação pela qual se deriva a relatividade geral é conhecida como a "ação de Einstein-Hilbert". Hilbert deve ter sido levado a terminar a última e minúscula parte da teoria de Einstein porque, como costumava dizer, "a física é importante demais para ser deixada nas

mãos dos físicos". Ou seja, os físicos provavelmente não tinham habilidade matemática suficiente para sondar a natureza. Esse ponto de vista parece que era compartilhado por outros matemáticos. O matemático Felix Klein reclamaria que Einstein não era por natureza um matemático, mas trabalhava sob a influência de impulsos físico-filosóficos obscuros. Essa talvez seja a diferença essencial entre matemáticos e físicos e o motivo por que os primeiros não têm conseguido descobrir novas leis da física. Os matemáticos lidam exclusivamente com um grande número de domínios pequenos e autoconsistentes, como ramos isolados. Já os físicos lidam com um pequeno número de princípios físicos simples cuja solução pode requerer muitos sistemas matemáticos. Embora a linguagem da natureza seja a matemática, a força propulsora por trás da natureza parece ser esses princípios físicos, por exemplo, a relatividade e a teoria quântica.)

As notícias da nova teoria da gravidade de Einstein foram interrompidas pela eclosão da guerra. Em 1914, o assassinato do herdeiro do trono austro-húngaro, o arquiduque Francisco Ferdinando, desencadeou a maior carnificina da época, arrastando os impérios britânico, austro-húngaro, russo e prussiano a um conflito catastrófico que envolveria dezenas de milhões de jovens. Quase da noite para o dia, professores tranqüilos e eminentes das universidades alemãs transformaram-se em nacionalistas sedentos de sangue. Quase todo o corpo docente da Universidade de Berlim foi acometido pela febre bélica e passou a dedicar suas energias ao esforço marcial. Em apoio ao Kaiser, 93 intelectuais proeminentes assinaram o notório "Manifesto ao mundo civilizado", que convocava todas as pessoas a se mobilizarem em torno do Kaiser e declarava, de forma deplorável, que o povo alemão precisava desafiar "as hordas russas aliadas aos mongóis e negros lançadas contra a raça branca".[14] O manifesto justificava a invasão alemã da Bélgica e proclamava orgulhosamente: "O Exército alemão e o povo alemão são a mesma coisa. Essa consciência une agora 70 milhões de alemães sem distinção de educação, classe ou partido".[15] Até o protetor de Einstein, Max Planck, assinou o manifesto, além de indivíduos ilustres como Felix Klein e os físicos Wilhelm Roentgen (o descobridor dos raios X), Walther Nernst e Wilhelm Ostwald.

Einstein, um pacifista empedernido, recusou-se a assinar o manifesto. Georg Nicolai, médico de Elsa e ativista antibélico proeminente, pediu que cem intelectuais assinassem um contramanifesto. Devido à histeria bélica que dominava a Alemanha, apenas quatro chegaram a assiná-lo, entre eles Einstein. Só restava a ele balançar a cabeça em sinal de descrença. Escreveu: "Inacreditável o que a Europa desencadeou em sua loucura". E acrescentou tristemente: "Numa época dessas percebemos a que deplorável espécie animal pertencemos".[16]

Em 1916, o mundo de Einstein foi abalado outra vez, agora pela notícia espantosa de que seu amigo íntimo idealista Friedrich Adler, o mesmo físico que abriu mão generosamente de um cargo potencial na Universidade de Zurique a favor de Einstein, havia assassinado o primeiro-ministro austríaco, o conde Karl von Stürgkh, num restaurante vienense lotado, bradando: "Abaixo a tirania! Queremos paz!". O país inteiro ficou boquiaberto com a notícia de que o filho do fundador do Partido Socialdemocrata austríaco havia cometido um ato inominável de homicídio contra a nação. Adler foi imediatamente enviado à prisão e poderia ser condenado à morte. Enquanto aguardava o julgamento, Adler retornou ao passatempo favorito, a física, e

começou a escrever um longo ensaio criticando a teoria da relatividade de Einstein. É incrível que, em meio a todo o tumulto criado pelo assassinato e suas conseqüências potenciais, ele se preocupasse com a idéia de ter encontrado um erro crucial na relatividade!

O pai de Adler agarrou-se à única defesa possível para o filho. Percebendo a incidência de doenças mentais na família, Viktor afirmou que o filho estava louco e pediu clemência. Como prova da loucura, citou o fato de que o filho estava tentando refutar a consagrada teoria da relatividade de Einstein. Einstein ofereceu-se como testemunha de defesa, mas nunca foi convocado.

Embora em princípio o tribunal tenha considerado Adler culpado, condenando-o ao enforcamento, a sentença foi mais tarde comutada para prisão perpétua como resultado dos apelos de Einstein e outros em seu favor. (Por ironia, com o colapso subseqüente do governo, após a Primeira Guerra Mundial, Adler foi solto em 1918 e chegou a ser eleito para a Assembléia Nacional austríaca, tornando-se uma das figuras mais populares do movimento trabalhista.)

A guerra e o tremendo esforço mental para a criação da relatividade geral prejudicaram a saúde de Einstein, que sempre fora precária.[17] Acabou dominado pela dor em 1917, quase sofrendo um colapso. Sua façanha mental hercúlea o enfraquecera tanto que ele não conseguia mais sair do apartamento. Perdeu 25 quilos em apenas dois meses. Tornando-se uma sombra do que era antes, temeu que estivesse morrendo de câncer, mas o diagnóstico foi de úlcera estomacal. Os médicos recomendaram repouso absoluto e uma mudança na dieta. Durante esse período, Elsa tornou-se uma companheira constante, cuidando do doente até que recuperasse a saúde. Ele se tornou mais íntimo de Elsa e das filhas dela, especialmente depois que se mudou para um apartamento próximo ao delas.

Em junho de 1919, Einstein enfim se casou com Elsa. Com idéias bem claras de como um professor eminente deveria se trajar, ela ajudou a operar sua transição de professor desleixado e solteiro para marido elegante e domesticado, talvez preparando-o para a próxima evolução em sua vida, quando ele despontou como uma figura heróica no cenário mundial.

* Isto significa que qualquer objeto em queda livre na Terra aumenta sua velocidade em 9,75 metros por segundo (aproximadamente 3,5 quilômetros por hora) a cada segundo de queda. [N. R. T.]

CAPÍTULO 5
O NOVO COPÉRNICO

Einstein, recuperando-se do tumulto e caos da Primeira Guerra Mundial, aguardava ansioso a análise do eclipse solar seguinte, que ocorreria em 29 de maio de 1919. Um cientista britânico, Arthur Eddington, estava fortemente motivado a realizar o experimento decisivo para testar a teoria de Einstein. Eddington era secretário da Royal Astronomical Society da Inglaterra e se sentia tão à vontade realizando observações astronômicas como mergulhando na matemática da relatividade geral. Ele tinha outro motivo para realizar o experimento do eclipse solar: era quacre, e suas convicções pacifistas impediram-no de lutar no exército britânico na Primeira Guerra Mundial. Preferia ir para a prisão a ser recrutado para o serviço militar. Os dirigentes da Universidade de Cambridge temiam um escândalo se um de seus jovens astros fosse para a cadeia por se recusar a combater e negociaram com o governo uma protelação do alistamento em troca da prestação de um serviço cívico: liderar uma expedição para observar o eclipse solar de 1919 e testar a teoria de Einstein. Portanto, seu dever patriótico oficial pelo esforço de guerra agora era liderar a expedição a fim de testar a relatividade geral.

Arthur Eddington levantou acampamento na ilha de Príncipe, no golfo de Guiné, na costa da África Ocidental, e outra equipe, liderada por Andrew Crommelin, içou velas para Sobral, no Nordeste do Brasil. Condições climáticas desfavoráveis, com nuvens pesadas bloqueando o Sol, quase arruinaram todo o experimento. Mas as nuvens milagrosamente se afastaram o suficiente para que as estrelas fossem fotografadas à uma e meia da tarde.

Decorreriam meses, porém, até que as equipes conseguissem retornar à Inglaterra e analisar os dados com cuidado. Quando Eddington enfim comparou suas fotografias com outras tiradas na Inglaterra vários meses antes com o mesmo telescópio, encontrou uma deflexão média de 1,61 segundo de arco, enquanto a equipe de Sobral determinou o valor de 1,98 segundo de arco. Tirando-se uma média, calcularam 1,79 segundo de arco, o que confirmava a previsão de Einstein de 1,74 segundo de arco, considerando-se a margem de erro experimental. Eddington mais tarde lembraria afetuosamente que verificar a teoria de Einstein foi o momento mais importante de sua vida.

Em 22 de setembro de 1919, Einstein enfim recebeu um telegrama de Hendrik Lorentz informando-o da notícia fantástica. Einstein escreveu entusiasmado para a mãe: "Querida mamãe — Boas notícias hoje. H. A. Lorentz telegrafou dizendo que o experimento inglês de fato provou a deflexão da luz pelo Sol".[1] Max Planck aparentemente passou a noite em claro para conferir se os dados do eclipse solar confirmariam a relatividade geral. Einstein mais tarde

brincou: "Se ele tivesse *realmente* entendido a teoria da relatividade geral, teria ido para a cama como eu".[2]

Embora a comunidade científica estivesse agora num frenesi com as notícias surpreendentes da nova teoria da gravidade de Einstein, a explosão só se tornou pública depois de uma reunião conjunta da Royal Society e da Royal Astronomical Society de Londres, em 6 de novembro de 1919. Einstein viu-se subitamente transformado, de um professor veterano e eminente de física em Berlim, em uma figura mundial, um digno sucessor de Isaac Newton. Naquele encontro, o filósofo Alfred Whitehead observou: "Havia uma atmosfera de curiosidade nervosa, exatamente como num drama grego".[3] Sir Frank Dyson foi o primeiro a falar. Disse: "Após um estudo cuidadoso das chapas estou pronto para dizer que, sem sombra de dúvida, elas confirmam a previsão de Einstein. Obteve-se um resultado bem definido de que a luz é defletida de acordo com a lei da gravidade de Einstein".[4]

O vencedor do prêmio Nobel J. J. Thompson, presidente da Royal Society, disse solenemente que aquela era "uma das maiores realizações da história do pensamento humano. Não é a descoberta de uma ilha remota, mas de um continente inteiro de novas idéias científicas. É a maior descoberta relacionada à gravidade desde que Newton enunciou seus princípios".[5]

Conta-se que quando Eddington saía da reunião, outro cientista o deteve e observou: "Comenta-se que apenas três pessoas no mundo inteiro entenderam a teoria de Einstein. Você deve ser uma delas".[6] Eddington manteve-se em silêncio, de modo que o cientista insistiu: "Não seja modesto, Eddington".[7] Eddington deu de ombros e disse: "Não estou sendo nem um pouquinho. Só estava pensando quem poderia ser a terceira".

No dia seguinte, o *Times* de Londres anunciou na manchete: "Revolução na Ciência — Nova Teoria do Universo — Idéias de Newton Derrubadas — Pronunciamento Grandioso — Espaço 'Curvo'."[8] (Eddington escreveu para Einstein: "A Inglaterra inteira está comentando a sua teoria. Para as relações científicas entre a Inglaterra e a Alemanha, esta é a melhor coisa que poderia ter acontecido".[9] Os jornais de Londres também observaram, em tom de aprovação, que Einstein se recusara a assinar o hediondo manifesto dos 93 intelectuais alemães que enfurecera os intelectuais britânicos.)

Eddington atuaria como o maior defensor de Einstein no mundo de língua inglesa, erguendo a tocha da relatividade geral e defendendo-a contra todos os contestadores. À semelhança de Thomas Huxley no século anterior, que serviu como o "buldogue de Darwin", promovendo a herética teoria da evolução em uma Inglaterra vitoriana e profundamente religiosa, Eddington usaria todo o poder de sua reputação científica e sua capacidade de debater para promover a relatividade. Essa união estranha entre dois pacifistas, um quacre e um judeu, ajudou a levar a relatividade à população de língua inglesa.

A relatividade eclodiu tão de repente na mídia mundial que muitos jornais foram pegos de surpresa, lutando para encontrar alguém com conhecimentos de física. O *New York Times* enviou às pressas seu especialista em golfe, Henry Crouch, para cobrir aquela matéria espetacular, cometendo vários erros. O *Manchester Guardian* enviou o crítico de música para cobrir a matéria. Mais tarde, o *Times* de Londres pediu que Einstein escrevesse um artigo sobre sua nova teoria. Para ilustrar o princípio da relatividade, ele escreveu no *Times*:

> Atualmente na Alemanha sou considerado um cientista alemão, e na Inglaterra sou chamado de judeu suíço. Se eu cair em desgraça, as descrições se inverterão, e eu me tornarei um judeu suíço para os alemães e um cientista alemão para os ingleses.[10]

Logo, centenas de jornais estavam clamando por uma entrevista exclusiva com aquele autêntico gênio, o sucessor de Copérnico e Newton. Einstein viu-se cercado por repórteres ávidos por um furo de reportagem. Parecia que todos os jornais do mundo estavam dando destaque àquele assunto na primeira página. O público, cansado da carnificina e selvageria absurda da Primeira Guerra Mundial, talvez estivesse pronto para uma figura lendária que explorasse seus mitos e lendas mais profundos sobre os astros no firmamento, cujo mistério sempre estivera em seus sonhos. Além disso, Einstein havia redefinido a imagem do próprio gênio. Em vez de uma imagem encastelada, o público estava encantado com aquele mensageiro dos astros semelhante a um jovem Beethoven, cabelos esvoaçantes e roupas surradas, que fazia observações perspicazes para a imprensa e empolgava as multidões com seus ditos espirituosos e gracejos.

Ele escreveu para os amigos: "Hoje em dia, todo cocheiro e todo garçom discute se a teoria da relatividade está certa. A convicção de uma pessoa sobre este ponto depende do partido político a que pertence".[11] Mas depois que a novidade passou, começou a ver o lado negativo daquela publicidade. Ele escreveu:

> Desde a enxurrada de artigos nos jornais tenho estado tão atolado de perguntas, convites, desafios, que sonho que estou ardendo no inferno e o carteiro é o diabo, eternamente urrando comigo e atirando novas pilhas de cartas na minha cabeça porque não respondi às antigas.[12]

"Este mundo é um hospício curioso", concluiu, com ele no centro daquele "circo da relatividade".[13] Lamentou: "Sinto-me um pouco como uma meretriz. Todo mundo quer saber o que ando fazendo".[14] Caçadores de curiosidades, excêntricos, donos de circos, todos clamavam por um pedaço de Albert Einstein. O *Berliner Illustrierte Zeitung* detalhou alguns dos problemas enfrentados pelo cientista subitamente famoso, que recusou uma oferta generosa da empresa de venda de ingressos London Palladium de incluí-lo num cartaz junto com comediantes, artistas da corda bamba e comedores de fogo. Einstein podia sempre rejeitar polidamente ofertas que o transformassem em curiosidade, mas não conseguia evitar que bebês, ou mesmo marcas de charutos, fossem batizados com seu nome.

Algo tão grandioso quanto a descoberta de Einstein inevitavelmente atrairia bandos de céticos para armarem um contra-ataque. Os céticos foram encabeçados pelo *New York Times*. Após se recuperar do choque inicial de ser passado para trás pela imprensa britânica, seus editores zombaram da credulidade do público britânico e de sua pressa em aceitar as teorias de Einstein. O *New York Times* escreveu que os britânicos

> parecem ter sido acometidos por uma espécie de pânico intelectual quando souberam da verificação fotográfica da teoria de Einstein. Eles aos poucos estão se recuperando, à medida que percebem que o Sol continua nascendo — aparentemente — a leste.[15]

O que irritou particularmente os editores de jornais de Nova York e levantou suas suspeitas foi o fato de tão pouca gente no mundo conseguir compreender a teoria. Os editores reclamaram que aquilo estava no limite de ser antiamericano e antidemocrático. Será que o mundo está sendo enganado por um piadista?

No mundo acadêmico, os céticos foram legitimados por um professor de mecânica celeste da Universidade de Columbia chamado Charles Lane Poor. Ele equivocadamente liderou o ataque, invectivando: "As supostas provas astronômicas da teoria, conforme citadas e reivindicadas por Einstein, não existem".[16] Poor comparou o autor da teoria da relatividade com os personagens de Lewis Carroll:

> Tenho lido vários artigos sobre a quarta dimensão, a teoria da relatividade de Einstein e outras especulações psicológicas sobre a constituição do universo e, após a leitura, sinto-me como o senador Brandegee depois um jantar célebre em Washington. "Sinto-me", disse ele, "como se tivesse passeado com Alice no País das Maravilhas e tomado chá com o Chapeleiro."[17]

O engenheiro George Francis Gillette declarou, furioso, que a relatividade constituía

> física vesga, totalmente doida, o resultado imbecil de uma cólica mental, o nadir da pura idiotice e uma besteira digna do vodu. Em 1940, a relatividade será considerada uma piada. Einstein já está morto e enterrado junto com Andersen, Grimm e o Chapeleiro.[18]

A ironia é que os historiadores só se lembram ainda desses indivíduos por causa de suas invectivas vãs contra a teoria da relatividade. A boa ciência tem como característica inconfundível o fato de que a física não é determinada por um concurso de popularidade ou pelos editoriais do *New York Times*, mas pela experimentação cuidadosa. Como disse certa vez Max Planck, referindo-se às críticas ferozes que enfrentou ao propor sua teoria quântica:

> Uma nova verdade científica em geral permanece não porque seus adversários se declaram persuadidos ou convencidos, mas porque os adversários gradualmente vão desaparecendo e a geração mais nova se familiariza com a verdade desde o princípio.[19]

O próprio Einstein certa vez observou: "Grandes espíritos sempre enfrentaram uma oposição violenta por parte das mentes medíocres".[20]

Infelizmente, a adulação a Einstein na imprensa estimulou o ódio, o ciúme e a inveja do exército crescente de seus detratores. O mais notório inimigo dos judeus na comunidade da física era Philipp Lenard, o físico vencedor do prêmio Nobel que havia estabelecido a

dependência básica entre o efeito fotoelétrico e a freqüência da radiação, resultado que foi finalmente explicado pela teoria de Einstein do *quantum* de luz, o fóton. Mileva chegou a assistir a palestras de Lenard quando visitou Heidelberg. Em publicações violentas, ele depreciou Einstein como uma "fraude judaica" e disse que a relatividade "poderia ter sido prevista desde o princípio — se a teoria racial estivesse mais disseminada —, já que Einstein era um judeu".[21] Acabou se tornando membro destacado do que se chamou a Liga Anti-relatividade, dedicada a eliminar a "física judaica" da Alemanha e estabelecer a pureza da física ariana. Lenard não era uma figura isolada no mundo da física. Ele recebeu a adesão de muitos cientistas alemães, inclusive o vencedor do prêmio Nobel Johannes Stark e Hans Geiger (inventor do contador Geiger).

Em agosto de 1920, esse grupo virulento de detratores alugou o imenso Teatro da Filarmônica em Berlim com o único objetivo de denunciar a teoria da relatividade. De modo memorável, Einstein estava na platéia. Ele enfrentou uma série ininterrupta de oradores irados que o denunciaram, à sua frente, como um caçador de publicidade, plagiador e charlatão. No mês seguinte, houve outro desses confrontos, dessa vez numa reunião da Sociedade dos Cientistas Alemães, em Bad Nauheim. A polícia estava presente na entrada do salão para evitar qualquer protesto ou violência. Einstein foi vítima de vaias e zombarias quando tentou responder a algumas das acusações inflamadas de Lenard. Notícias desse evento ruidoso chegaram aos jornais de Londres, e o povo britânico alarmou-se com rumores de que o maior cientista da Alemanha estava sendo forçado a deixar o país. Para negar esses rumores, o representante do Ministério das Relações Exteriores alemão em Londres declarou que seria catastrófico para a ciência alemã se Einstein partisse e que "não devemos espantar esse homem, que podemos usar em propaganda cultural eficaz".[22]

Em abril de 1921, com convites afluindo de todas as partes do mundo, Einstein decidiu usar sua recente celebridade para promover não apenas a relatividade, mas também suas outras causas, que agora incluíam a paz e o sionismo. Ele havia enfim redescoberto as raízes judaicas.[23] Em conversas longas com o amigo Kurt Blumenfeld, começou a compreender plenamente o sofrimento terrível infligido ao povo judeu através dos séculos. Blumenfeld, ele escreveu, foi o responsável por "tornar-me consciente de minha alma judaica".[24] Chaim Weizmann, um sionista de destaque, teve a idéia de usar Einstein como um chamariz para angariar fundos para a Universidade Hebraica de Jerusalém. O plano envolveu uma viagem de Einstein pelos Estados Unidos.

Assim que o navio chegou ao porto de Nova York, Einstein viu-se cercado de repórteres ávidos por um relance dele. Multidões se enfileiraram nas ruas para ver sua carreata e vibraram quando ele acenou de sua limusine conversível. "É como o circo de Barnum!", exclamou Elsa, quando alguém jogou um buquê de flores para ela.[25] Einstein refletiu: "As damas de Nova York querem uma novidade a cada ano. Este ano a moda é a relatividade".[26] Ele acrescentou: "Será que tenho algo de charlatão ou hipnotizador que atrai as pessoas como um palhaço de circo?".

Como esperado, Einstein despertou um enorme interesse entre o público e estimulou a causa sionista. Simpatizantes, caçadores de curiosidades e admiradores judeus lotaram todos os auditórios onde ele falou. Uma multidão de 8 mil pessoas espremeu-se no 69o Arsenal do

Regimento, em Manhattan, enquanto 3 mil tiveram que ser mandadas de volta, ávidas por um vislumbre do gênio.[27] A recepção a Einstein no City College de Nova York foi um dos pontos altos da viagem. Isidor Isaac Rabi, que mais tarde ganharia o prêmio Nobel, tomou notas detalhadas da palestra e maravilhou-se com o fato de Einstein, ao contrário dos outros físicos, possuir um carisma que atraía as multidões. (Até hoje, uma foto de todo o corpo discente do City College de Nova York cercando Einstein pende da parede do escritório do diretor da escola.)

Depois de deixar Nova York, Einstein percorreu os Estados Unidos, fazendo visitas rápidas a várias cidades importantes. Em Cleveland, 3 mil pessoas o cercaram. Ele só escapou "de possíveis ferimentos graves graças ao esforço árduo de um esquadrão de veteranos de guerra judeus que afastaram à força as pessoas que tentavam vê-lo a todo custo".[28] Em Washington, encontrou-se com o presidente Warren G. Harding. Infelizmente, não puderam se comunicar, já que Einstein não falava inglês e Harding não sabia alemão nem francês. (No todo, o périplo de Einstein rendeu quase 1 milhão de dólares; 250 mil dólares desse total vieram de um único jantar no Hotel Waldorf Astoria, em que ele se dirigiu a oitocentos médicos judeus.)

Sua viagem aos Estados Unidos, além de introduzir milhões de norte-americanos aos mistérios de espaço e tempo, também reafirmou o compromisso profundo e sincero de Einstein com a causa judaica. Criado num lar europeu confortável de classe média, ele não tinha nenhum contato direto com o sofrimento dos judeus pobres ao redor do mundo. "Foi a primeira vez na minha vida que vi judeus em massa", observou.[29]

> Somente nos Estados Unidos vim a descobrir o povo judeu. Eu havia visto muitos judeus, mas nem em Berlim, nem em outras partes da Alemanha deparei com o povo judeu. O povo judeu que vi nos Estados Unidos era oriundo da Rússia, da Polônia, em geral do Leste europeu.[30]

Depois dos Estados Unidos, Einstein foi para a Inglaterra, onde se encontrou com o arcebispo de Canterbury. Para alívio do sacerdote, Einstein assegurou que a teoria da relatividade não solaparia o moral do povo nem sua crença na religião. Ele almoçou em casa dos Rothschild e encontrou-se com o grande físico clássico lorde Rayleigh, que lhe disse: "Se suas teorias estão corretas, compreendo que eventos, digamos, da conquista normanda ainda não ocorreram".[31*] Ao ser apresentado a lorde Haldane e sua filha, esta desmaiou ante o eminente cientista. Mais tarde, Einstein prestou homenagem a Isaac Newton, visitando sua tumba no pedaço mais sagrado da Inglaterra, a abadia de Westminster, onde depositou uma coroa de flores. Em março de 1922, ele recebeu um convite para falar no Collège de France, onde foi cercado pela imprensa parisiense e seguido por enormes multidões. Um jornalista observou:

> Ele se tornou a grande moda. Acadêmicos, políticos, artistas, policiais, choferes de táxi e batedores de carteiras sabem os dias das palestras de Einstein. *Tout* Paris sabe tudo sobre Einstein e fala sobre ele até aquilo que não sabe.[32]

A viagem foi cercada de controvérsia, quando alguns cientistas, ainda sofrendo as feridas da Primeira Guerra Mundial, boicotaram sua palestra, dando como desculpa o fato de a Alemanha não ser membro da Liga das Nações. (Em resposta, um jornal parisiense caçoou: "Se um alemão descobrisse a cura do câncer ou da tuberculose, esses trinta acadêmicos teriam que esperar até que a Alemanha se tornasse membro da Liga das Nações para usar o remédio?".[33])

O retorno de Einstein à Alemanha, porém, foi toldado pela instabilidade política de Berlim no pós-guerra. Aquela era a temporada dos assassinatos políticos. Em 1919, os líderes socialistas Rosa Luxemburgo e Karl Liebknecht haviam sido mortos. Em abril de 1922, Walther Rathenau, físico judeu e colega de Einstein que se tornara ministro do Exterior da Alemanha, foi assassinado a rajadas de metralhadora em seu carro. Alguns dias depois, Maximilian Harden, outro judeu importante, foi gravemente ferido em outra tentativa de assassinato.

Um dia de luto nacional foi declarado, com fechamento dos teatros, escolas e universidades em homenagem a Rathenau. Um milhão de pessoas mantiveram-se em silêncio diante do prédio do parlamento onde se realizou o funeral. No entanto, Philipp Lenard recusou-se a cancelar suas aulas no Instituto de Física de Heidelberg. (Antes, ele chegara a defender que Rathenau fosse assassinado. No dia do luto nacional, um grupo de trabalhadores tentou persuadir Lenard a cancelar suas aulas, mas foram encharcados por baldes d'água atirados do segundo andar do prédio. Os trabalhadores então invadiram o instituto e arrastaram Lenard para fora. Estavam prestes a atirá-lo no rio quando a polícia interveio.[34])

Naquele ano, um jovem alemão, Rudolph Leibus, foi acusado em Berlim de oferecer uma recompensa pelo assassinato de Einstein e outros intelectuais, alegando que "era um dever patriótico fuzilar esses líderes do sentimento pacifista".[35] Ele foi considerado culpado pelo tribunal, mas condenado a pagar a pequena multa de dezesseis dólares. (Einstein levava essas ameaças a sério, tanto de anti-semitas como de indivíduos dementes. Certa vez, uma imigrante russa mentalmente desequilibrada, Eugenia Dickson, escreveu uma série de cartas ameaçadoras a Einstein, acusando-o de ser um impostor que fingia ser o Einstein real, e invadiu a casa dele tentando matá-lo. Mas, antes que aquela mulher maluca pudesse atacá-lo, Elsa atracou-se com ela à porta, conseguindo dominá-la e chamar a polícia.[36])

Einstein, enfrentando aquela onda perigosa de anti-semitismo, aproveitou a oportunidade para realizar outra excursão pelo mundo, dessa vez ao Oriente. O filósofo e matemático Bertrand Russell estava dando palestras no Japão, e seus anfitriões pediram que indicasse algumas das pessoas mais ilustres da época para falarem no país. Ele imediatamente indicou Lênin e Einstein. Claro que Lênin não estava disponível, de modo que o convite foi para Einstein. Ele aceitou e começou sua odisséia em janeiro de 1923. "A vida é como andar de bicicleta. Para se equilibrar, você tem que se manter em movimento", escreveu.[37]

A caminho de Japão e China, Einstein recebeu uma mensagem de Estocolmo que para muitos já vinha tarde demais. O telegrama confirmava sua premiação com o Nobel de Física. Mas o prêmio não foi pela teoria da relatividade, sua realização máxima, e sim pelo efeito fotoelétrico. Quando ele enfim proferiu seu discurso de agradecimento no ano seguinte, surpreendeu o público, de uma forma bem típica dele, não mencionando o efeito fotoelétrico, como todos

esperavam, mas falando sobre a relatividade.

Por que Einstein, de longe a figura mais visível e respeitada da física, demorou tanto tempo para ganhar o prêmio Nobel? Contrariando as expectativas, ele havia sido rejeitado oito vezes pela Comissão do prêmio Nobel, de 1910 a 1921. Durante esse período, numerosos experimentos haviam sido conduzidos para confirmar a precisão da relatividade. Sven Hedin, um dos membros da comissão premiadora do Nobel, mais tarde confessou que o problema foi Lenard, que tinha grande influência sobre outros juízes, incluindo Hedin. O físico vencedor do Nobel, Robert Millikan, também recordou que a comissão premiadora, dividida quanto à questão da relatividade, acabou incumbindo um membro de avaliar a teoria: "Ele dedicou todo seu tempo ao estudo da teoria da relatividade de Einstein. Não conseguiu entendê-la. Não ousou conceder o prêmio e correr o risco de descobrir, mais tarde, que a teoria da relatividade era inválida.[38]"

Como prometera, Einstein enviou o dinheiro do prêmio Nobel a Mileva, como parte do acordo do divórcio (32 mil em dólares de 1923). Ela acabou usando o dinheiro para comprar três prédios em Zurique.

Nas décadas de 1920 e 1930, Einstein havia emergido como um gigante no cenário mundial.[39] Os jornais solicitavam entrevistas, seu rosto sorria nos cinejornais, ele era inundado com pedidos de palestras e os jornalistas revelavam os mínimos detalhes de sua vida. Einstein brincou que era o rei Midas, com a diferença de que tudo que tocava se transformava em manchete de jornal. A turma de 1930 da Universidade de Nova York, indagada sobre a figura mais popular do mundo, escolheu Charles Lindbergh em primeiro lugar e Albert Einstein em segundo, na frente de qualquer astro de Hollywood. Aonde quer que Einstein fosse, sua mera presença atraía multidões. Quatro mil pessoas, por exemplo, começaram um tumulto tentando assistir a um filme sobre a relatividade no Museu de História Natural de Nova York. Um grupo de industriais chegou a financiar a construção da Torre Einstein em Potsdam, Alemanha, um observatório solar de aspecto futurista, concluído em 1924, que abrigava um telescópio numa torre de dezesseis metros de altura. Einstein, de tão requisitado por artistas e fotógrafos que queriam captar o rosto do gênio, descreveu sua profissão como "modelo de artistas".

Dessa vez, porém, não repetiu o erro cometido com Mileva, abandonando-a enquanto dava voltas pelo mundo. Para a alegria de Elsa, ele a levava junto aos encontros com celebridades, a realeza e os poderosos. Elsa, por sua vez, adorava o marido e regozijava-se com sua fama mundial. Ela era "delicada, calorosa, maternal, o protótipo da burguesa, e adorava tomar conta de seu Albertle".[40]

Em 1930, Einstein fez sua segunda viagem triunfante aos Estados Unidos. Na visita a San Diego, o humorista Will Rogers observou sobre Einstein:

> Ele comia com todo mundo, falava com todo mundo, posava para todo mundo que ainda tinha filme na máquina, comparecia a tudo que era almoço, tudo que era jantar, toda estréia de filme, todo casamento e dois terços dos divórcios. Na verdade, ele se mostrava um camarada tão bom que ninguém tinha a coragem de perguntar qual era a sua teoria.[41]

Ele visitou o California Institute of Technology e o observatório de Monte Wilson, encontrando-se com o astrônomo Edwin Hubble, que havia confirmado algumas das teorias de Einstein sobre o universo. Também visitou Hollywood e foi recebido com o brilho de um *superstar*. Em 1931, ele e Elsa assistiram à *première* do filme de Charlie Chaplin, *Luzes da cidade*. A multidão lutava para ver, ainda que fugazmente, o cientista de fama mundial cercado pela realeza de Hollywood. Na abertura, enquanto o público aplaudia freneticamente Chaplin e Einstein, Chaplin observou: "As pessoas me aplaudem porque todos me compreendem, e aplaudem você porque ninguém o compreende".[42] Desnorteado com o frenesi que as celebridades conseguem provocar, Einstein indagou o que tudo aquilo significava. Chaplin respondeu com sabedoria: "Nada". (Ao visitar a famosa igreja Riverside, de Nova York, Einstein viu seu rosto num vitral que retratava os grandes filósofos, líderes e cientistas do mundo. Brincou: "Eu até poderia imaginar que me transformassem em um santo judeu, mas nunca pensei que me tornaria um santo protestante!".[43])

Einstein também era consultado sobre suas idéias acerca de filosofia e religião. Seu encontro com um colega contemplado com o prêmio Nobel, o místico indiano Rabindranath Tagore, em 1930, atraiu a atenção da imprensa. Formavam uma dupla interessante: Einstein, cabelos branquíssimos, e Tagore, longa e imponente barba branca. Um jornalista observou:

> Era interessante vê-los juntos — Tagore, o poeta com a cabeça de pensador, e Einstein, o pensador com a cabeça de poeta. Para um observador, era como se dois planetas estivessem envolvidos num bate-papo.[44]

Desde as suas leituras de Kant quando jovem, Einstein passara a suspeitar da filosofia tradicional, que em sua opinião muitas vezes degenerara em prestidigitação pomposa e, em última análise, simplista. Ele escreveu: "A filosofia como um todo não aparenta ter sido escrita com mel? Parece maravilhosa quando contemplada, mas a um segundo olhar tudo foi embora. Resta apenas uma massa indistinta".[45] Tagore e Einstein discordaram quanto à possibilidade de o mundo poder existir sem a existência humana. Enquanto Tagore sustentava a crença mística de que a existência humana era essencial à realidade, Einstein discordou: "O mundo, considerado sob o aspecto físico, existe a despeito da consciência humana".[46] Se bem que discordassem na questão da realidade física, chegaram a um consenso maior nas questões da religião e moralidade. Na área da ética, Einstein acreditava que a moralidade era definida pela humanidade, não por Deus. "A moralidade é da máxima importância — mas para nós, não para Deus", observou ele. "Não acredito na imortalidade do indivíduo e considero a ética uma preocupação exclusivamente humana, sem nenhuma autoridade sobre-humana subjacente[47]".

Posto que cético quanto à filosofia tradicional, Einstein mostrava um profundo respeito pelos mistérios representados pela religião, principalmente a natureza da existência. Ele escreveria: "A ciência sem religião é manca, a religião sem ciência é cega".[48] Também atribuiria a esse reconhecimento do mistério a fonte de toda ciência: "Todas as especulações de valor no domínio da ciência emanam de um sentimento religioso profundo". Einstein escreveu: "A experiência mais bonita e profunda que um homem pode ter é a sensação do misterioso. É o

princípio subjacente à religião, bem como a todos os esforços sérios em arte e ciência".[49] E concluiu: "Se há algo em mim que possa ser chamado de religioso, é a admiração ilimitada pela estrutura do mundo na medida em que a ciência consegue revelá-lo".[50] A afirmação mais elegante e explícita que fez sobre religião foi escrita em 1929:

> Não sou ateu e não creio que possa me considerar panteísta. Estamos na situação de uma criancinha que adentra uma enorme biblioteca repleta de livros em diferentes línguas. A criança sabe que alguém deve ter escrito aqueles livros. Não sabe como. Ela não entende as línguas em que estão escritos. A criança suspeita levemente de uma ordem misteriosa na disposição dos livros, mas não sabe qual é. Esta, ao que me parece, é a atitude mesmo do ser humano mais inteligente para com Deus. Vemos um universo maravilhosamente disposto e obedecendo a certas leis, mas só temos uma tênue compreensão dessas leis. Nossas mentes limitadas não conseguem captar a força misteriosa que move as constelações. Fascina-me o panteísmo de Spinoza, mas admiro ainda mais suas contribuições ao pensamento moderno, por ser o primeiro filósofo a lidar com a alma e o corpo como um todo, não como duas coisas separadas.[51]

Einstein costumava fazer uma distinção entre dois tipos de Deus, que muitas vezes são confundidos nas discussões sobre religião. Primeiro existe o Deus pessoal, o Deus que responde às orações, abre as águas do mar Morto, opera milagres. Trata-se do Deus da Bíblia, o Deus da intervenção. Depois existe o Deus em que Einstein acreditava, o Deus de Spinoza, o Deus que criou as leis simples e elegantes que regem o universo.

Mesmo em meio àquele circo da mídia, Einstein milagrosamente nunca perdeu seu foco, concentrando seus esforços na sondagem dessas leis do universo. Nos transatlânticos ou em longas viagens de trem, tinha disciplina suficiente para evitar distrações e concentrar-se em seu trabalho. E o que o intrigava durante aquele período era a capacidade de suas equações de esclarecer a estrutura do próprio universo.

* A Inglaterra foi conquistada pelo duque da Normandia, Guilherme, o Conquistador, em 1066. [N. T.]

CAPÍTULO 6
O BIG-BANG E OS BURACOS NEGROS

O universo teve um princípio? O universo é finito ou infinito? Ele terá um fim? Quando começou a indagar o que sua teoria poderia revelar sobre o cosmos, Einstein — à semelhança de Newton antes dele — deparou com os mesmos tipos de questões que haviam intrigado os físicos séculos antes.

Em 1692, cinco anos após completar sua obra-prima, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Newton recebeu uma carta de um pastor, Richard Bentley, que o deixou intrigado. Bentley observou que, se a gravidade fosse estritamente atrativa, e nunca repulsiva, qualquer conjunto estático de estrelas necessariamente colapsaria sobre si mesma. Esta observação simples, mas potente, era desconcertante: embora o universo parecesse bem estável, a gravitação universal, decorrido um tempo razoável, faria com que o universo inteiro colapsasse! Bentley estava isolando um problema básico enfrentado por qualquer cosmologia em que a gravidade fosse uma força atrativa: um universo finito deve forçosamente ser instável e dinâmico.

Após refletir sobre essa questão perturbadora, Newton enviou uma carta em resposta para Bentley, afirmando que o universo, para evitar esse colapso, teria que consistir em um conjunto infinito e uniforme de estrelas. Se o universo fosse de fato infinito, as estrelas seriam atraídas uniformemente em todas as direções. Desse modo, o universo poderia ser estável, ainda que a gravidade fosse estritamente atrativa. Newton escreveu: "Se a matéria estivesse disposta uniformemente por um espaço infinito, jamais poderia se agregar numa só massa... e assim o Sol e as estrelas fixas poderiam ser formados".[1]

Mas o pressuposto do universo infinito fazia surgir outro problema mais profundo, conhecido como o paradoxo de Olbers. O paradoxo consiste em uma pergunta simples: por que o céu noturno é negro? Se o universo for de fato infinito, estático e uniforme, para onde quer que olhássemos no céu, deveríamos ver uma estrela. Dessa forma, uma quantidade infinita de luz estelar deveria atingir nossos olhos de todas as direções, e o céu noturno deveria ser branco, e não preto. Assim, se o universo fosse uniforme e finito, colapsaria, mas se fosse infinito, deveria estar pegando fogo!

Mais de duzentos anos depois, Einstein enfrentou os mesmos problemas, mas de forma disfarçada. Em 1915, o universo era um lugar confortável, supostamente consistindo em uma galáxia estática e solitária: a Via Láctea. Essa faixa brilhante de luz que se estende pelo céu noturno consistia em bilhões de estrelas. Mas, quando Einstein começou a resolver suas

equações, descobriu algo perturbador e inesperado. Ele supunha que o universo estivesse repleto de um gás uniforme, uma aproximação das estrelas e nuvens de poeira. Para sua consternação, descobriu que seu universo era dinâmico, que preferia se expandir ou contrair e nunca se mostrava estável. De fato, ele logo se achou na areia movediça das questões cosmológicas que, ao longo do tempo, vêm intrigando filósofos e físicos como Newton. Os universos finitos nunca são estáveis sob a gravidade.

Einstein, forçado como Newton a encarar um universo dinâmico em contração ou expansão, ainda não estava preparado para rejeitar o modelo predominante de um universo atemporal e estático. Ele ainda não era revolucionário o suficiente para aceitar que o universo estivesse se expandindo ou tivesse um começo. Sua solução foi um tanto débil. Em 1917, introduziu o que poderia ser chamado de um "fator de correção" em suas equações: a "constante cosmológica" Esse fator postulava uma antigravidade repulsiva que contrabalançava a força atrativa da gravidade. O universo se tornou estático por decreto.

Para efetuar essa prestidigitação, Einstein percebeu que a co-variância geral, o mais importante princípio matemático por trás da relatividade geral, admite dois objetos co-variantes gerais possíveis: a curvatura de Ricci (que forma a base da relatividade geral) e o volume do espaço-tempo. Portanto, um segundo termo poderia ser acrescido às suas equações, que fosse compatível com a co-variância geral e proporcional ao volume do universo. Em outras palavras, a constante cosmológica atribuía uma energia ao espaço vazio. Esse termo de antigravidade, agora denominado "energia escura", é a energia do vácuo puro. Ela pode afastar as galáxias ou aproximá-las. Einstein escolheu o valor preciso da constante cosmológica para neutralizar a contração causada pela gravidade, de modo que o universo se tornasse estático. Ficou frustrado com a solução, que cheirava a um embuste matemático, mas não tinha outra saída se quisesse preservar um universo estático. (Decorreriam oitenta anos até que os astrônomos enfim encontrassem indícios da constante cosmológica, que se acredita agora ser a fonte predominante de energia no universo.)

O quebra-cabeça tornou-se mais difícil nos anos seguintes, com a descoberta de novas soluções às equações de Einstein. Em 1917, Willem de Sitter, um físico holandês, viu que era possível chegar a uma solução estranha para as equações de Einstein: um universo vazio de matéria que, mesmo assim, se expandia! Bastava a constante cosmológica, a energia do vácuo, para impelir um universo em expansão. Essa solução perturbou Einstein, que ainda acreditava, como Mach antes dele, que a natureza do espaço-tempo deveria ser determinada pelo conteúdo de matéria do universo. Ali estava um universo que se expandia sem nenhuma matéria, precisando apenas de energia escura para se propelir para a frente.

Os últimos passos radicais foram dados por Alexander Friedmann, em 1922, e um sacerdote belga, Georges Lemaître, em 1927, que mostraram que um universo em expansão se evidencia naturalmente das equações de Einstein. Friedmann obteve uma solução das equações de Einstein que começava com um universo homogêneo, isotrópico, cujo raio se expande ou se contrai. (Infelizmente, Friedmann morreu em 1925 de febre tifóide em Leningrado antes que pudesse detalhar sua solução.) No modelo de Friedmann-Lemaître, existem três soluções possíveis, dependendo da densidade do universo. Se a densidade do universo superar certo

valor crítico, sua expansão acabará revertida pela gravidade, e o universo começará a se contrair. (A densidade crítica é de cerca de treze átomos de hidrogênio por metro cúbico.) Nesse universo, a curvatura geral é positiva (uma esfera possui curvatura positiva). Se a densidade do universo for inferior ao valor crítico, a gravidade será insuficiente para reverter a expansão do universo, que se expandirá indefinidamente. (O universo acabará se aproximando do zero absoluto de temperatura ao se expandir em direção ao denominado "grande congelamento"). Nesse universo, a curvatura geral é negativa (uma sela ou o pavilhão de um trompete possui curvatura negativa). Por fim, existe a possibilidade de que o universo estará equilibrado bem no valor crítico (caso em que ainda se expandirá indefinidamente). Nesse universo, a curvatura é zero, de modo que ele é plano. Desse modo, o destino do universo poderia ser determinado, em princípio, pela simples medição da densidade média.

O progresso nessa direção era desconcertante, já que agora havia pelo menos três modelos cosmológicos de como o universo deveria evoluir (os modelos de Einstein, De Sitter e Friedmann-Lemaître). A questão ficou em aberto até 1929, quando foi enfim resolvida pelo astrônomo Edwin Hubble, cujos resultados viriam a abalar os fundamentos da astronomia. Ele primeiro demoliu a teoria do universo de uma só galáxia, demonstrando a presença de outras galáxias bem além da Via Láctea. (O universo, longe de ser um conjunto confortável de umas 100 bilhões de estrelas contidas em uma só galáxia, agora continha bilhões de galáxias, cada uma contendo bilhões de estrelas. Em apenas um ano o universo subitamente explodiu.) Ele descobriu que havia potencialmente bilhões de outras galáxias, e que a mais próxima era Andrômeda, a cerca de 2 milhões de anos-luz da Terra. (A palavra "galáxia" deriva da palavra grega para "leite", pois os gregos acreditavam que a galáxia Via Láctea consistisse em leite esparramado pelos deuses no céu noturno.)

Bastaria esta revelação chocante para garantir a fama de Hubble entre os gigantes da astronomia. Mas Hubble foi mais longe ainda. Em 1928, fez uma viagem decisiva à Holanda, onde se encontrou com De Sitter, que sustentava que a relatividade geral de Einstein previa um universo em expansão, com uma relação simples entre o desvio para o vermelho e a distância. Quanto mais distante da Terra, mais rápido uma galáxia estaria se afastando. (Esse desvio para o vermelho difere ligeiramente daquele analisado por Einstein já em 1915. É causado por galáxias se afastando da Terra em um universo em expansão. Se uma estrela amarela, por exemplo, se afasta de nós, a velocidade do raio de luz permanece constante, mas seu comprimento de onda é "esticado", de modo que a cor da estrela amarela se torna avermelhada. De forma semelhante, se uma estrela amarela se aproxima da Terra, seu comprimento de onda se encolhe, se espreme, como um acordeão, e sua cor torna-se azulada.)

Quando retornou ao observatório de monte Wilson, Hubble iniciou um exame sistemático do desvio para o vermelho das galáxias para testar esta correlação. Ele sabia que, já em 1912, Vesto Melvin Slipher havia mostrado que algumas nebulosas distantes estavam se afastando da Terra, criando um desvio para o vermelho. Hubble passou a calcular sistematicamente o desvio para o vermelho de galáxias distantes e descobriu que essas galáxias estavam se afastando da Terra — em outras palavras, o universo estava se expandindo a uma velocidade fantástica. Então descobriu que seus dados podiam se enquadrar na conjectura de Willem de Sitter. Isto

agora se chama a "lei de Hubble": quanto mais rápido uma galáxia se afasta da Terra, mais longe está (e vice-versa).

Ao traçar o gráfico da distância *versus* velocidade, Hubble encontrou uma linha quase reta, conforme previsto pela relatividade geral, cuja inclinação se chama agora "constante de Hubble". Hubble, por sua vez, estava curioso por saber como seus resultados se encaixariam naqueles de Einstein. (Infelizmente, o modelo de Einstein tinha matéria, mas não movimento, e o universo de De Sitter tinha movimento, mas não matéria. Os resultados de Hubble pareciam condizer com o trabalho de Friedmann e Lemaître, que tinha matéria e movimento.) Em 1930, Einstein fez uma peregrinação ao observatório de monte Wilson, onde conheceu Hubble. (Quando os astrônomos de lá se vangloriaram de que seu telescópio gigantesco de cem polegadas, o maior do mundo na época, era capaz de desvendar a estrutura do universo, Elsa não se impressionou. Disse: "O meu marido faz isto no verso de um envelope usado".[2]) Quando Hubble explicou os resultados minuciosos de sua análise de dezenas de galáxias, todas se afastando da Via Láctea, Einstein admitiu que sua constante cosmológica havia sido o maior erro de sua vida. A constante cosmológica, introduzida por Einstein para criar artificialmente um universo estático, tornava-se dispensável. O universo na verdade se expandia, como ele descobrira uma década antes.

Além disso, as equações de Einstein forneciam talvez a derivação mais simples da lei de Hubble. Suponha que o universo seja um balão que está se expandindo, as galáxias representadas como pontos minúsculos pintados no balão. Para uma formiga que esteja num desses pontos, parece que todos os outros pontos estão se afastando. De forma semelhante, quanto mais longe um ponto estiver da formiga, mas rapidamente estará se afastando, como na lei de Hubble. Desse modo, as equações de Einstein lançaram uma nova luz sobre perguntas antigas como: o universo tem um fim? Se o universo terminar num muro, poderemos perguntar: o que existe além do muro? Colombo poderia ter respondido à pergunta levando em conta a forma da Terra. Em três dimensões, a Terra é finita (não passando de uma bola flutuando no espaço), mas em duas dimensões ela parece infinita (se alguém ficar dando voltas em torno dela). Desse modo, alguém caminhando na superfície da Terra nunca encontrará um fim. Portanto, a Terra é ao mesmo tempo finita e infinita, dependendo do número de dimensões medidas. Similarmente, é possível afirmar que o universo é infinito em três dimensões. Não existe um muro de tijolos no espaço que represente o fim do universo; um foguete enviado ao espaço nunca colidirá com algum muro cósmico. No entanto, existe a possibilidade de que o universo seja finito em quatro dimensões. (Se ele fosse uma bola quadridimensional, ou hiperesfera, você poderia dar a volta completa ao universo e retornar ao ponto de partida. Nesse universo, o objeto mais distante que você vê com um telescópio é a parte de trás de sua cabeça.)

Se o universo está se expandindo a certa velocidade, pode-se reverter a expansão e calcular a época aproximada em que ela começou. Em outras palavras, não apenas o universo tinha um início, mas também era possível calcular sua idade. (Em 2003, dados de satélite mostraram que o universo tem 13,7 bilhões de anos.) Em 1931, Lemaître postulou uma origem específica para o universo, uma gênese superquente. Levando-se as equações de Einstein à conclusão lógica,

elas mostravam que o universo teve uma origem cataclísmica.

Em 1949, o cosmólogo Fred Hoyle chamou esta teoria de "Big-Bang" durante uma discussão na rádio BBC. Como ele defendia uma teoria rival, criou-se a lenda de que cunhou o nome "Big-Bang" como um insulto (embora ele mais tarde negasse a história). Entretanto, cabe observar que o nome é totalmente impróprio. Aquilo não foi grande, nem houve uma explosão (*bang*). O universo começou como uma "singularidade" infinitesimalmente pequena. E não houve explosão no sentido convencional, já que foi a expansão do próprio espaço que afastou as estrelas umas das outras.

A teoria de Einstein da relatividade geral, além de introduzir conceitos totalmente inesperados, como o universo em expansão e o Big-Bang, também apresentou outro conceito que vem intrigando os astrônomos desde então: buracos negros. Em 1916, apenas um ano após a publicação da teoria da relatividade geral, Einstein surpreendeu-se ao ouvir dizer que um físico, Karl Schwarzschild, solucionara suas equações exatamente para o caso de uma estrela puntiforme única. Antes, Einstein usara apenas aproximações das equações da relatividade geral, por serem muito complexas. Schwarzschild empolgou Einstein por encontrar uma solução exata, sem nenhuma aproximação. Conquanto diretor do Observatório Astrofísico de Potsdam, Schwarzschild apresentou-se como voluntário para defender a Alemanha no front russo. O incrível é que, em plena guerra, em meio à explosão das bombas, ele conseguiu trabalhar em física. Além de calcular a trajetória das balas da artilharia para o exército alemão, também calculou a solução mais simples e exata das equações de Einstein — atualmente conhecida como "solução de Schwarzschild". (Por fatalidade, não viveu o suficiente para desfrutar a fama de sua solução. Um dos astros mais brilhantes a surgir nesse novo campo da relatividade, Schwarzschild morreu aos 42 anos, poucas semanas depois da publicação de seus artigos, vítima de uma doença de pele rara contraída durante a luta no front russo, uma perda incalculável para o mundo da ciência. Einstein fez um elogio fúnebre comovente para Schwarzschild, cuja morte apenas reforçou o ódio de Einstein à insensatez da guerra.)

A solução de Schwarzschild, que causou sensação nos círculos científicos, também tinha conseqüências estranhas. Schwarzschild descobriu que, bem próximo de sua estrela puntiforme, a gravidade era tão intensa que a própria luz não conseguia escapar, tornando a estrela invisível! Tratava-se de um problema difícil não apenas para a teoria da gravidade de Einstein, mas também para a teoria newtoniana. Já em 1783, John Michell, pároco de Thornhill, Inglaterra, especulou se uma estrela poderia adquirir uma massa tão grande que nem a luz pudesse escapar. Seus cálculos, recorrendo apenas às leis de Newton, não eram confiáveis, porque ninguém sabia ao certo a velocidade da luz, mas suas conclusões eram difíceis de rejeitar. Em princípio, uma estrela poderia adquirir uma massa tão grande que sua luz orbitaria à sua volta. Treze anos mais tarde, em seu famoso livro *Exposition du système du monde*, o matemático Pierre-Simon de Laplace também indagou se essas "estrelas escuras" seriam possíveis (mas deve ter achado a especulação tão louca que a excluiu da terceira edição). Séculos depois, a questão das estrelas escuras voltou à baila, graças a Schwarzschild. Ele descobriu que um "círculo mágico" circundava a estrela, o agora denominado "horizonte de eventos", no qual distorções desconcertantes do espaço-tempo ocorrem. Schwarzschild

demonstrou que quem tivesse o azar de transpor aquele horizonte de eventos jamais retornaria. (Você teria que ultrapassar a velocidade da luz para escapar, o que é impossível.) Na verdade, de dentro do horizonte de eventos, nada consegue escapar, nem mesmo um raio de luz. A luz emitida dessa estrela puntiforme simplesmente orbitaria para sempre à sua volta. De fora, a estrela pareceria envolta em escuridão.

Poderíamos usar a solução de Schwarzschild para calcular quanto a matéria comum teria que ser comprimida para atingir aquele círculo mágico, chamado de "raio de Schwarzschild", ponto no qual a estrela colapsaria totalmente. Para o Sol, o raio de Schwarzschild seria de três quilômetros. Para a Terra, seria inferior a um centímetro. (Como esse fator de compressão estava além da compreensão física na década de 1910, os físicos achavam que ninguém jamais depararia com tal objeto fantástico.) Mas, quanto mais Einstein estudava as propriedades dessas estrelas, posteriormente batizadas de "buracos negros" pelo físico John Wheeler, mais estranhas elas se tornavam. Por exemplo, se você caísse dentro de um buraco negro, levaria apenas uma fração de segundo para transpor o horizonte de eventos. Em sua passagem fugaz por ele, veria luz orbitando em volta do buraco negro, capturada talvez bilhões de anos atrás. O milissegundo final não seria particularmente agradável. As forças gravitacionais, de tão fortes, esmigalhariam os átomos do seu corpo. A morte seria inevitável e horrível. Mas observadores que contemplassem essa morte cósmica a uma distância segura veriam um quadro totalmente diferente. A luz emitida de seu corpo seria esticada pela gravidade, de modo que você pareceria congelado no tempo. Para o resto do universo, você continuaria pairando sobre o buraco negro, inerte.

Essas estrelas eram tão fantásticas que a maioria dos físicos achava que elas jamais seriam encontradas no universo. Eddington, por exemplo, disse: "Devia haver uma lei da natureza que impedisse uma estrela de se comportar dessa forma absurda".[3] Em 1939, Einstein tentou mostrar matematicamente que tal buraco negro era impossível. Ele começou estudando uma estrela em formação, ou seja, uma coleção de partículas circulando pelo espaço, gradualmente atraídas umas para as outras por sua força gravitacional. O cálculo de Einstein mostrou que esse conjunto de partículas gradualmente colapsaria, mas chegaria apenas a 1,5 vez o raio de Schwarzschild, de modo que um buraco negro jamais poderia se formar.

Embora este cálculo parecesse perfeito, o que à primeira vista Einstein não percebeu foi a possibilidade de uma implosão da matéria da própria estrela, se uma força gravitacional esmagadora superasse todas as forças nucleares da matéria. Este cálculo mais detalhado foi publicado em 1939 por J. Robert Oppenheimer e seu aluno Hartland Snyder. Em vez de pressupor um conjunto de partículas circulando pelo espaço, imaginaram uma estrela estática, grande o suficiente para que sua gravidade imensa pudesse sobrepujar as forças quânticas dentro da estrela. Por exemplo, uma estrela de nêutrons consiste em uma grande bola de nêutrons mais ou menos do tamanho de Manhattan (uns trinta quilômetros de largura), constituindo um núcleo gigantesco. O que evita o colapso dessa bola de nêutrons é a força de Fermi, que impede que mais de uma partícula com certos números quânticos (por exemplo, *spin*) estejam no mesmo estado. Se a força gravitacional for grande o bastante, será possível superar a força de Fermi e espremer a estrela dentro do raio de Schwarzschild, onde nada

conhecido pela ciência consegue impedir um colapso total. No entanto, umas três décadas ainda decorreriam até que se encontrassem estrelas de nêutrons e se descobrissem buracos negros; assim, a maioria dos artigos sobre as propriedades desconcertantes dos buracos negros foi considerada altamente especulativa.

Embora continuasse cético quanto aos buracos negros, Einstein acreditava que um dia outra de suas previsões se concretizaria: a descoberta de ondas gravitacionais. Como vimos, um dos triunfos das equações de Maxwell foi a previsão de que campos elétricos e magnéticos em vibração criariam uma onda móvel que poderia ser observada. De forma semelhante, Einstein quis saber se suas equações permitiam ondas gravitacionais. Num mundo newtoniano, ondas gravitacionais não podem existir, já que a "força" da gravidade age instantaneamente através do universo, atingindo todos os objetos ao mesmo tempo. Mas na relatividade geral, em certo sentido, ondas gravitacionais precisam existir, já que as vibrações do campo gravitacional não podem exceder a velocidade da luz. Desse modo, um evento cataclísmico, como a colisão de dois buracos negros, liberará uma onda de choque de gravidade, uma onda gravitacional, que se desloca à velocidade da luz.

Já em 1916, Einstein conseguiu mostrar que, com aproximações adequadas, suas equações forneciam movimentos ondulatórios da gravidade. Essas ondas se espalhavam pela tessitura do espaço-tempo à velocidade da luz, como esperado. Em 1937, com seu aluno Nathan Rosen, ele conseguiu encontrar uma solução exata de suas equações que fornecia ondas gravitacionais, sem nenhuma aproximação. As ondas gravitacionais eram agora uma previsão firme da relatividade geral. Einstein desesperou-se, porém, com a impossibilidade de vir a testemunhar tal evento. Os cálculos mostraram que aquilo estava bem além da capacidade experimental dos cientistas da época. (Decorreriam quase oitenta anos, depois que Einstein descobriu as ondas gravitacionais em suas equações, até que o prêmio Nobel fosse concedido aos físicos que descobriram os primeiros indícios indiretos de ondas gravitacionais. As primeiras ondas gravitacionais talvez possam ser detectadas diretamente noventa anos após a previsão inicial de Einstein. Essas ondas, por sua vez, poderão ser a forma definitiva de sondar o próprio Big-Bang e encontrar a teoria do campo unificado.)

Em 1936, um engenheiro tcheco, Rudi Mandl, procurou Einstein com mais uma idéia sobre as propriedades estranhas de espaço e tempo. Ele queria saber se a gravidade de uma estrela próxima poderia ser usada como uma lente para ampliar a luz de estrelas distantes, assim como lentes de vidro podem ser usadas para ampliar a luz. Einstein havia cogitado essa possibilidade já em 1912, mas, estimulado por Mandl, calculou que a lente criaria um padrão anelar a um observador da Terra. Por exemplo, imagine que a luz de uma galáxia distante passe por uma galáxia próxima. A gravidade da galáxia próxima poderia dividir a luz ao meio, cada metade circundando a galáxia em direções opostas. Quando os raios de luz tiverem transposto totalmente a galáxia próxima, voltam a se juntar. Da Terra, esses raios seriam vistos como um anel de luz, uma ilusão de óptica criada pela curvatura da luz ao redor da galáxia próxima. Entretanto, Einstein concluiu que "não há muita esperança de se observar esse fenômeno diretamente".[4] Na verdade, ele escreveu que esse trabalho "tem pouco valor, mas deixa o pobre sujeito [Mandl] contente".[5] Outra vez Einstein estava tão adiante de seu tempo que seriam

necessários mais sessenta anos até que as suas lentes e anéis fossem encontrados e acabassem se tornando ferramentas indispensáveis para os astrônomos sondarem o cosmos.

Por mais bem-sucedida e poderosa que fosse a relatividade geral, ela não preparou Einstein, em meados da década de 1920, para a batalha de sua vida: descobrir uma teoria do campo unificado a fim de unificar as leis da física e, ao mesmo tempo, combater o "demônio" da teoria quântica.

PARTE III

O QUADRO INACABADO
A TEORIA DO CAMPO UNIFICADO

CAPÍTULO 7
UNIFICAÇÃO E O DESAFIO QUÂNTICO

Em 1905, mal havia formulado a teoria da relatividade restrita, Einstein começou a perder o interesse nela, concentrando-se em algo maior: a relatividade geral. Em 1915, o padrão se repetiu. Assim que terminou de formular sua teoria da gravidade, ele começou a mudar o foco para um projeto ainda mais ambicioso: a teoria do campo unificado, que unificasse sua teoria da gravidade com a teoria do eletromagnetismo de Maxwell. Seria sua obra-prima, o ápice de duzentos anos de investigação científica da natureza da gravidade e da luz. Ele conseguiria "ler a mente de Deus".

Einstein não foi o primeiro a sugerir uma relação entre o eletromagnetismo e a gravidade. Michael Faraday, que trabalhava no Royal Institution de Londres no século XIX, realizou alguns dos primeiros experimentos para examinar a relação entre essas duas forças dominantes. Por exemplo, jogou ímãs da ponte de Londres para ver se a velocidade de queda diferia daquela de pedras comuns. Se o magnetismo interagisse com a gravidade, talvez o campo magnético pudesse agir como um obstáculo à gravidade, fazendo os ímãs caírem em velocidade diferente. Ele também soltou pedaços de metal do alto da sala de aula sobre uma almofada no chão para ver se a queda conseguia induzir uma corrente elétrica no metal. Todos os experimentos produziram resultados negativos. Contudo, observou: "Eles não abalam minha forte convicção da existência de uma relação entre gravidade e eletricidade, embora não forneçam nenhuma prova de que tal relação existe".[1] Além do mais, Riemann, criador da teoria do espaço curvo em qualquer dimensão, estava bem convencido de que gravidade e eletromagnetismo pudessem ser reduzidos a discussões puramente geométricas. Pena que não dispusesse de nenhum modelo físico ou equações de campo, de modo que suas idéias não deram em nada.

Einstein certa vez sintetizou sua opinião sobre a unificação comparando o mármore com a madeira. O mármore, pensou ele, descrevia o mundo bonito da geometria, onde as superfícies se arqueavam de forma regular e contínua. O universo das estrelas e galáxias jogava seu jogo cósmico no mármore bonito do espaço-tempo. A madeira, por outro lado, representava o mundo caótico da matéria, com sua selva de partículas subatômicas, suas regras absurdas para o *quantum*. Essa madeira, como videiras nodosas, cresce de formas imprevisíveis e aleatórias. As novas partículas descobertas no átomo enfeavam a teoria da matéria. Einstein viu o defeito em suas equações. A falha fatal era que a madeira determinava a estrutura do mármore. O grau de arqueamento do espaço-tempo era determinado pela quantidade de madeira em qualquer ponto.

Desse modo, a estratégia de Einstein estava clara para ele: *criar uma teoria do puro mármore*, eliminar a madeira, reformulando-a somente em termos de mármore. Se fosse possível mostrar que a própria madeira era feita de mármore, ele teria uma teoria puramente geométrica. Por exemplo, uma partícula puntiforme é infinitamente pequena, sem extensão no espaço. Na teoria do campo, uma partícula puntiforme é representada por uma "singularidade", um ponto onde a intensidade do campo vai a infinito. Einstein queria substituir essa singularidade por uma deformação uniforme de espaço e tempo. Imagine, por exemplo, uma torção ou nó numa corda. À distância, a torção pode parecer uma partícula, mas de perto a torção ou nó não passa de um vinco na corda. Do mesmo modo, Einstein queria criar uma teoria que fosse puramente geométrica e não tivesse nenhuma singularidade. As partículas subatômicas, como o elétron, se evidenciariam como torções ou algum tipo de pequeno vinco na superfície do espaço-tempo. O problema fundamental, porém, era a falta de uma simetria e um princípio concretos capazes de unificar o eletromagnetismo e a gravidade. Como já vimos, o segredo do pensamento de Einstein era a unificação pela simetria. Com a relatividade restrita, ele foi guiado constantemente pela imagem da corrida com o raio de luz. Essa imagem revelou a contradição fundamental entre a mecânica newtoniana e os campos de Maxwell. Daí ele conseguiu extrair um princípio: a constância da velocidade da luz. Por último, conseguiu formular a simetria que unificou espaço e tempo: as transformações de Lorentz.

De forma semelhante, com a relatividade geral, ele dispunha de um quadro: a gravidade era causada pela curvatura de espaço e tempo. Esse quadro expôs a contradição fundamental entre a gravidade de Newton (que se deslocava instantaneamente) e a relatividade (onde nada pode ultrapassar a velocidade da luz). Desse quadro, ele extraiu o princípio da equivalência, de que referenciais em aceleração e gravitantes obedeciam às mesmas leis da física. Por fim, conseguiu formular a simetria generalizada que descrevia acelerações e gravidade, que foi a co-variância geral.

O problema com que Einstein se defrontava agora era realmente intimidante, porque ele estava pelo menos cinqüenta anos à frente de seu tempo. Ao começar o trabalho na teoria do campo unificado, na década de 1920, as únicas forças conhecidas eram a gravitacional e a eletromagnética. O núcleo do átomo havia sido descoberto apenas em 1911 por Ernest Rutherford, e a força que o mantinha coeso ainda jazia envolta em mistério. Mas, sem uma compreensão das forças nucleares, faltava a Einstein um peça básica do quebra-cabeça. Ademais, faltava o apoio de um experimento ou observação que expusesse a contradição entre gravidade e eletromagnetismo.

Hermann Weyl, um matemático inspirado pela busca de Einstein de uma teoria do campo unificado, fez a primeira tentativa séria em 1918. De início, Einstein impressionou-se. "É uma sinfonia magistral", escreveu.[2] Weyl expandiu a antiga teoria da gravidade de Einstein, acrescentando o campo de Maxwell diretamente nas equações. Depois exigiu que as equações fossem co-variantes sob mais simetrias ainda que na teoria original de Einstein, incluindo transformações de escala (transformações que expandem ou contraem todas as distâncias). Todavia, Einstein logo encontrou algumas anomalias estranhas na teoria. Por exemplo, se você percorresse um círculo e retornasse ao ponto original, descobriria que estava mais curto, mas

continuava com a mesma forma. Em outras palavras, os comprimentos não eram preservados. (Na teoria de Einstein, os comprimentos também podiam mudar, mas permaneciam iguais se você retornasse ao local de partida.) O tempo também mudaria numa trajetória fechada, violando nossa compreensão do mundo físico. Por exemplo, se átomos em vibração fossem deslocados num círculo completo, estariam vibrando em freqüências diferentes quando retornassem. A teoria de Weyl, embora parecesse engenhosa, teve de ser abandonada por não corresponder aos dados. (Em retrospecto, podemos ver que a teoria de Weyl continha simetria demais. A invariância de escala parece ser uma simetria que a natureza não emprega para descrever nosso universo visível.)

Em 1923, Arthur Eddington também entrou na onda. Inspirado pelo trabalho de Weyl, Eddington (e muitos outros depois dele) tentou criar uma teoria do campo unificado. Como Einstein, ele formulou uma teoria baseada na curvatura de Ricci, mas o conceito de distância não aparecia nas equações. Em outras palavras, era impossível definir metros ou segundos em sua teoria; a teoria era "pré-geométrica". Somente no último passo a distância enfim apareceria em conseqüência de suas equações. O eletromagnetismo deveria surgir como uma parte da curvatura de Ricci. O físico Wolfgang Pauli não gostou nem um pouco dessa teoria, tachando-a de sem "nenhuma importância para a física".[3] Einstein também meteu o malho, achando que não tinha conteúdo físico.

Mas o que realmente abalou Einstein nos alicerces foi um artigo que viu em 1921, escrito por um matemático obscuro, Theodr Kaluza, da Universidade de Königsberg. Kaluza sugeriu que Einstein, um pioneiro no conceito da quarta dimensão, acrescentasse outra dimensão às suas equações. Ele começou reformulando a relatividade geral do próprio Einstein em *cinco dimensões* (quatro de espaço e uma de tempo). Isto não dá nenhum trabalho, já que as equações de Einstein podiam ser facilmente formuladas em qualquer número de dimensões. Depois, em umas poucas linhas, Kaluza mostrou que se a quinta dimensão fosse separada das outras quatro, as equações de Einstein surgiam, junto com as equações de Maxwell! Em outras palavras, as equações de Maxwell, o conjunto terrível de oito equações diferenciais diferentes memorizadas por todos os engenheiros e físicos, podem ser reduzidas a ondas se deslocando na quinta dimensão. Ou seja, a teoria de Maxwell já estava oculta dentro da teoria de Einstein, se a relatividade fosse estendida para cinco dimensões.

Einstein surpreendeu-se com a tremenda audácia e beleza do trabalho de Kaluza. Escreveu para Kaluza: "A idéia de obter [a unificação] por meio de um mundo cilíndrico pentadimensional jamais me ocorreria. À primeira vista, gostei demais de sua idéia".[4] Algumas semanas depois, após estudar a teoria, escreveu: "A unidade formal de sua teoria é surpreendente".[5] Em 1926, o matemático Oskar Klein generalizou o trabalho de Kaluza e especulou que a quinta dimensão seria inobservável por ser pequena e estar possivelmente ligada à teoria quântica. Kaluza e Klein estavam assim propondo uma abordagem totalmente diferente da unificação. Para eles, o eletromagnetismo não passava de vibrações ondulando ao longo da superfície de uma pequena quinta dimensão.

Por exemplo, peixes que vivessem num laguinho raso e nadassem sob as folhas flutuantes das ninféias poderiam concluir que seu universo é bidimensional. Eles podem nadar para a frente e

para trás, para a direita e para a esquerda, mas o conceito de "subir" à terceira dimensão lhes seria estranho. Se vivem em um universo bidimensional, como poderiam tomar conhecimento de uma misteriosa terceira dimensão? Imagine um dia chuvoso. Ondulações minúsculas na superfície do laguinho, ou seja, na terceira dimensão, são claramente visíveis aos peixes. Observando o deslocamento dessas ondulações na superfície, os peixes poderiam concluir que havia uma força misteriosa capaz de iluminar seu universo. Podemos nos comparar aos peixes dessa imagem. Vivemos as nossas vidas em três dimensões espaciais, ignorando a possibilidade da existência de dimensões maiores, além dos nossos sentidos. O único contato direto possível com a quinta dimensão invisível é a luz, agora vista como ondulações que se deslocam ao longo da quinta dimensão.

Havia uma motivo para a teoria de Kaluza-Klein funcionar tão bem. Lembre-se de que a *unificação pela simetria* foi uma das grandes estratégias que levaram Einstein à relatividade. Na teoria de Kaluza-Klein, eletromagnetismo e gravidade foram unificados devido a uma nova simetria: a co-variância geral pentadimensional. Se bem que esse modelo — a unificação de gravidade e eletromagnetismo pela introdução de outra dimensão — exercesse uma forte atração, restava a pergunta importuna: onde se localizava essa quinta dimensão? Nenhum experimento jamais obteve indícios, mesmo nos dias de hoje, de nenhuma dimensão do espaço além do comprimento, largura e altura. Se essas dimensões maiores existem, devem ser minúsculas, bem menores que um átomo. Por exemplo, sabemos que, se liberarmos gás de cloro num quarto, seus átomos podem aos poucos permear todos os cantos e reentrâncias sem desaparecer em alguma misteriosa dimensão extra. Sabemos, portanto, que qualquer dimensão oculta deve ser menor que qualquer átomo. Se tornarmos a quinta dimensão menor que um átomo, essa teoria nova será compatível com todas as medições de laboratório, que jamais detectaram a presença da quinta dimensão. Kaluza-Klein supuseram que a quinta dimensão estava "enrolada", formando uma bola pequena demais para ser experimentalmente observada.

Embora a teoria de Kaluza-Klein constituísse uma abordagem nova e intrigante para a unificação do eletromagnetismo com a gravidade, Einstein acabou tendo suas dúvidas. A idéia de que a quinta dimensão pudesse não existir, que pudesse ser uma ficção ou miragem matemática, o incomodou. Além disso, ele teve problemas para encontrar partículas subatômicas na teoria de Kaluza-Klein. Seu objetivo era derivar o elétron das suas equações do campo gravitacional, mas por mais que tentasse não conseguiu encontrar tal solução. (Em retrospecto, tratou-se de uma tremenda oportunidade perdida para a física. Se os físicos tivessem levado mais a sério a teoria de Kaluza-Klein, poderiam ter acrescentado mais dimensões além de cinco. À medida que aumentamos o número de dimensões, o campo de Maxwell aumenta numericamente para os denominados "campos de Yang-Mills". Klein chegou a descobrir os campos de Yang-Mills no final da década de 1930, mas seu trabalho foi esquecido devido ao caos da Segunda Guerra Mundial. Quase duas décadas transcorreriam até que eles fossem redescobertos, em meados da década de 1950. Esses campos de Yang-Mills formam agora a base da teoria atual da força nuclear. Quase toda física subatômica é formulada em termos desses campos. Após mais vinte anos, a teoria de Kaluza-Klein seria ressuscitada na forma de uma teoria nova, a das cordas, agora considerada o candidato principal a teoria do

campo unificado.)

Einstein resolveu diminuir o risco de sua aposta. Se a teoria de Kaluza-Klein falhasse, ele teria de explorar um caminho diferente rumo à teoria do campo unificado. Sua opção foi investigar geometrias além da riemanniana. Ele consultou diversos matemáticos, e logo ficou evidente que aquele era um campo totalmente aberto. Na verdade, por insistência de Einstein, muitos matemáticos começaram a examinar geometrias "pós-riemannianas", ou a "teoria das conexões", para ajudá-lo a explorar novos universos possíveis. Como resultado, geometrias novas envolvendo a "torção" e "espaços torcidos" logo foram desenvolvidas. (Esses espaços abstratos permaneceriam sem aplicação na física por setenta anos, até o advento da teoria das supercordas.)

Contudo, trabalhar em geometrias pós-riemannianas constituía um pesadelo. Einstein carecia de um princípio físico que o orientasse pelo emaranhado das equações abstratas. Antes, ele usou o princípio da equivalência e a co-variância geral como bússolas. Ambos estavam firmemente enraizados em dados experimentais. Também recorrera a modelos físicos para mostrar o caminho. Com a teoria do campo unificado, porém, faltava um modelo ou princípio físico norteador.

O mundo estava tão curioso sobre o trabalho de Einstein que um relatório de andamento sobre a teoria do campo unificado que ele forneceu à academia prussiana foi objeto de reportagem do *New York Times*, que chegou a publicar partes do texto de Einstein. Logo, centenas de repórteres enxameavam diante de sua casa, na esperança de vê-lo de relance. Eddington escreveu:

> Você vai achar graça ao saber que uma de nossas lojas de departamentos em Londres (Selfridges) afixou seu artigo na vitrine (as seis páginas coladas lado a lado) para que os passantes possam ler por inteiro. Multidões se formam para lê-lo.[6]

Einstein, porém, teria trocado toda a adulação e elogios do mundo por um modelo físico simples que orientasse seu caminho.

Gradualmente, outros físicos começaram a insinuar que Einstein estava no caminho errado e que sua intuição física estava falhando. Um dos críticos foi seu amigo e colega Wolfgang Pauli, um dos pioneiros da teoria quântica, famoso nos círculos científicos pelo humor impiedoso. Certa vez, ele comentou sobre um artigo de física equivocado: "Não chega nem a estar errado".[7] A um colega cujo artigo havia examinado, disse: "Não me importo que você pense devagar, mas discordo quando publica mais rápido do que pensa".[8] Após ouvir um seminário confuso e incoerente, ele diria: "O que você disse foi tão confuso que não dá nem para saber se foi besteira ou não".[9] Quando os colegas físicos reclamavam que Pauli estava sendo crítico demais, ele respondia: "Algumas pessoas têm calos muito sensíveis, e a única forma de conviver com elas é pisar nesses calos até que se acostumem".[10] Sua impressão sobre a teoria do campo unificado refletiu-se em seu famoso comentário de que o que Deus despedaçou, nenhum homem poderá juntar de novo. (Por ironia, Pauli acabaria também se contagiando e propondo sua própria versão da teoria do campo unificado.)

A visão de Pauli seria endossada por muitos de seus colegas físicos, cada vez mais preocupados com a teoria quântica, a outra grande teoria do século xx. A teoria quântica assoma como uma das teorias físicas mais bem-sucedidas de todos os tempos. Ela tem tido um sucesso sem paralelo na explicação do mundo misterioso do átomo, e com isto desencadeou o poder dos lasers, da eletrônica moderna, dos computadores e da nanotecnologia. Por ironia, porém, a teoria quântica tem pés de barro. No mundo atômico, elétrons parecem surgir em dois lugares ao mesmo tempo, saltam entre órbitas sem avisar e desaparecem no mundo fantasmagórico entre a existência e a inexistência. Como observou Einstein, já em 1912: "Quanto maior o sucesso da teoria quântica, mais idiota parece".[11]

Alguns dos aspectos estranhos do mundo quântico foram revelados em 1924, quando Einstein recebeu uma carta curiosa de um físico indiano obscuro, Satyendra Nath Bose, cujos artigos sobre física estatística eram tão atípicos que foram sumariamente rejeitados para publicação. Bose estava propondo uma extensão do trabalho anterior de Einstein sobre mecânica estatística, buscando um tratamento mecânico plenamente quântico de um gás e tratando os átomos como objetos quânticos. Assim como Einstein havia estendido o trabalho de Planck a uma teoria da luz, Bose dava a entender que era possível estender o trabalho de Einstein a uma teoria plenamente quântica dos átomos em um gás. Einstein, um mestre no assunto, achou que, embora Bose tivesse cometido vários erros, fazendo suposições injustificáveis, sua resposta final parecia correta. Intrigado com o artigo, Einstein traduziu-o para o alemão e submeteu-o à publicação.

Ele então ampliou o trabalho de Bose e escreveu um artigo próprio, aplicando o resultado a matéria extremamente fria, pairando pouco acima do zero absoluto de temperatura. Bose e Einstein descobriram um fato curioso sobre o mundo quântico: todos os átomos são indistinguíveis, ou seja, não é possível rotular cada átomo, como pensaram Boltzmann e Maxwell. Enquanto pedras e árvores e outras matérias comuns podem ser rotuladas e receber nomes, no mundo quântico todos os átomos de hidrogênio são idênticos em qualquer experimento: não há átomos de hidrogênio verdes ou azuis ou amarelos. Einstein então descobriu que se um conjunto de átomos fosse superesfriado até quase zero absoluto, em que todos os movimentos atômicos quase cessam, todos os átomos cairiam no estado de energia mais baixo possível, criando um único "superátomo". Esses átomos se condensariam no mesmo estado quântico, comportando-se, em essência, como um único átomo gigante. Ele estava propondo um estado da matéria totalmente novo, nunca antes visto na Terra. Entretanto, para que os átomos pudessem cair ao estado de energia mínimo, seriam necessárias temperaturas fantasticamente baixas, de cerca de um milionésimo de grau acima de zero absoluto, baixas demais para serem observadas por experimentação. (A essas temperaturas baixíssimas, os átomos vibram em fileira cerrada, e efeitos quânticos sutis vistos apenas no nível dos átomos individuais agora se distribuem por todo o condensado. Como os torcedores em jogos de futebol que formam "ondas humanas" nas arquibancadas ao se levantarem e sentarem sincronizadamente, os átomos do "condensado de Bose-Einstein" agem como se tudo estivesse vibrando em sincronia.) Mas Einstein temeu que jamais pudesse observar a condensação de Bose-Einstein em sua vida, já que a tecnologia da década de 1920 não permitia

experimentos perto do zero absoluto. (Na verdade, Einstein estava tão à frente de seu tempo que setenta anos decorreriam até que aquela previsão pudesse ser testada.)

Além da condensação de Bose-Einstein, Einstein estava interessado em saber se seu princípio da dualidade se aplicaria à matéria, tanto quanto à luz. Em sua palestra de 1909, ele havia mostrado a natureza dúplice da luz, que podia ter simultaneamente propriedades corpusculares e ondulatórias. Se bem que fosse uma idéia herética, os resultados experimentais lhe deram total respaldo. Inspirado pelo programa da dualidade iniciado por Einstein, um jovem estudante de pós-graduação, o príncipe Louis de Broglie, especulou em 1923 que a própria matéria poderia ter propriedades corpusculares e ondulatórias. Tratava-se de um conceito ousado, revolucionário, devido ao preconceito arraigado de que a matéria consistia em partículas. Estimulado pelo trabalho de Einstein sobre a dualidade, De Broglie conseguiu esclarecer alguns dos mistérios do átomo, introduzindo o conceito de que a matéria tinha propriedades ondulares.

Einstein gostou da audácia das "ondas de matéria" de De Broglie e promoveu sua teoria. (De Broglie acabaria recebendo o prêmio Nobel por sua idéia seminal.) Mas se a matéria tem propriedades ondulatórias, as ondas obedeciam a qual equação? Os físicos clássicos tinham muita experiência em formular as equações de ondas sonoras e oceânicas, de modo que um físico austríaco, Erwin Schrödinger, sentiu-se inspirado a formular a equação dessas ondas de matéria. Notório mulherengo, enquanto passava o feriado de Natal de 1925 em Villa Herwig, Arosa, com uma das inúmeras namoradas, Schrödinger encontrou tempo livre para formular uma equação que logo se tornaria uma das mais famosas da física quântica: a equação da onda de Schrödinger. O biógrafo de Schrödinger, Walter Moore, escreveu: "Como a dama misteriosa que inspirou os sonetos de Shakespeare, a dama de Arosa poderá permanecer para sempre um mistério".[12] (Infelizmente, devido à quantidade de namoradas e amantes na vida de Schrödinger, bem como de filhos ilegítimos, é impossível determinar com certeza quem serviu de musa inspiradora para essa equação histórica.) Nos meses seguintes, numa série notável de artigos, Schrödinger mostrou que as regras misteriosas descobertas por Niels Bohr para o átomo de hidrogênio eram meras conseqüências de sua equação. Pela primeira vez, os físicos dispunham de um quadro detalhado do interior do átomo que permitia, em princípio, calcular as propriedades de átomos mais complexos, até moléculas. Decorridos alguns meses, a nova teoria quântica tornou-se um rolo compressor, dirimindo muitas das questões mais intrigantes sobre o mundo atômico, esclarecendo os maiores mistérios que haviam desconcertado os cientistas desde os gregos antigos. A dança dos elétrons entre as órbitas, liberando pulsos de luz ou unindo as moléculas, subitamente se tornou calculável, bastando resolver equações diferenciais parciais comuns. Um jovem e ousado físico quântico, Paul Adrian Maurice Dirac, chegou a alardear que toda a química podia ser explicada como soluções da equação de Schrödinger, reduzindo a química à física aplicada.

Desse modo, Einstein, que foi o pai da "velha teoria quântica" do fóton, tornou-se padrinho da "nova teoria quântica", baseada nas ondas de Schrödinger. (Hoje em dia, quando os alunos de química no curso secundário têm de memorizar os "orbitais" esquisitos de forma oval que cercam o núcleo, com rótulos estranhos e "números quânticos", estão na verdade

memorizando as soluções da equação de onda de Schrödinger.) O progresso na física quântica agora disparava. Percebendo que a equação de Schrödinger não incorporara a relatividade, apenas dois anos depois, Dirac generalizou a equação de Schrödinger em uma teoria plenamente relativística dos elétrons, deixando outra vez estupefato o mundo da física. Enquanto a célebre equação de Schrödinger era não-relativística e só se aplicava a elétrons em baixas velocidades em comparação com a luz, os elétrons de Dirac obedeciam à simetria plena de Einstein. Além disso, a equação de Dirac conseguia explicar automaticamente algumas propriedades obscuras do elétron, inclusive algo chamado "*spin*". Sabia-se, a partir de experimentos anteriores de Otto Stern e Walter Gerlach, que o elétron agia como um pião girante (*spinning*) em um campo magnético, com o momento angular dado por (em unidades da constante de Planck). O elétron de Dirac produzia precisamente o *spin* fornecido pelo experimento de Stern-Gerlach. (O campo de Maxwell, representando o fóton, tem *spin* ½, e as ondas gravitacionais de Einstein têm *spin* ½. Com o trabalho de Dirac, tornou-se claro que o *spin* de uma partícula subatômica seria uma de suas propriedades mais importantes.)

Depois Dirac deu um passo adiante. Examinando a energia desses elétrons, descobriu que passara despercebida a Einstein uma solução de suas próprias equações. Em geral, ao extrair a raiz quadrada de um número, introduzimos uma solução positiva e outra negativa. Por exemplo, a raiz quadrada de 4 pode ser +2 ou -2. Porque Einstein ignorou uma raiz quadrada em suas equações, sua famosa equação $E = mc^2$ não estava totalmente correta. A equação correta era $E = \pm mc^2$. Este sinal negativo extra, argumentou Dirac, tornava possível um novo tipo de universo invertido, onde as partículas podiam existir com uma nova forma de "antimatéria".[13]

(De modo curioso, apenas alguns anos antes, em 1925, o próprio Einstein cogitou na idéia da antimatéria ao mostrar que, invertendo-se o sinal da carga do elétron em uma equação relativística, é possível obter equações idênticas caso se inverta também a orientação do espaço. Ele mostrou que, para cada partícula de uma certa massa, deve existir outra partícula com carga oposta, mas de massa idêntica. A teoria da relatividade, além de nos dar a quarta dimensão, estava agora nos dando um mundo paralelo de antimatéria. Mas Einstein, que não costumava discutir sobre a precedência de descobertas, educadamente jamais desafiou Dirac.)

De início, as idéias radicais de Dirac esbarraram com um forte ceticismo. A idéia de um universo inteiro de partículas invertidas que se evidenciava de $E = \pm mc^2$ parecia uma idéia estranha. O físico quântico Werner Heisenberg (que, com Niels Bohr, descobrira independentemente uma formulação da teoria quântica equivalente à de Schrödinger) escreveu: "O capítulo mais triste da física moderna é e continua sendo a teoria de Dirac. Considero a teoria de Dirac um lixo erudito que ninguém consegue levar a sério".[14] Entretanto, os físicos tiveram que engolir seu orgulho quando o antielétron, ou pósitron, foi enfim descoberto em 1932, fazendo com que Dirac mais tarde recebesse o prêmio Nobel. Heisenberg enfim admitiu: "Acho que essa descoberta da antimatéria talvez tenha sido o maior salto de todos os grandes saltos de nosso século".[15] De novo, a teoria da relatividade produziu riquezas inesperadas, dessa vez fornecendo todo um novo universo constituído de antimatéria.

(Parece estranho que Schrödinger e Dirac, que desenvolveram as duas funções de onda mais

importantes da teoria quântica, tivessem personalidades tão diametralmente opostas. Enquanto Schrödinger vivia acompanhado de alguma amiga do belo sexo, Dirac era de uma timidez quase patológica com as mulheres e um homem de poucas palavras. Após a morte de Dirac, os britânicos, em homenagem às suas contribuições ao mundo da física, mandaram gravar sua equação em pedra na abadia de Westminster, não longe do túmulo de Newton.)

Logo, os físicos de todos os institutos da face da Terra se esforçavam para aprender as estranhas e belas propriedades das equações de Schrödinger e Dirac. No entanto, apesar de seu sucesso inegável, os físicos quânticos continuaram diante de uma questão filosófica perturbadora: se a matéria é uma onda, *o que exatamente está ondulando*? Trata-se da mesma pergunta que assolara a teoria ondulatória da luz, dando origem à teoria incorreta do éter. Uma onda de Schrödinger é como uma onda oceânica e acaba se espalhando se deixada solta. Com tempo suficiente, a função de onda se dissipa por todo o universo. Mas isto violava tudo o que os físicos sabiam sobre os elétrons. Acreditava-se que as partículas subatômicas fossem objetos puntiformes que formavam raias definidas, como as de um jato, fotografáveis em um filme. Desse modo, embora essas ondas quânticas tivessem um sucesso fabuloso na descrição do átomo de hidrogênio, não parecia concebível que a onda de Schrödinger pudesse descrever um elétron se movendo no espaço livre. Na verdade, se a onda de Schrödinger de fato representasse um elétron, ele lentamente se dissiparia e o universo se dissolveria.

Algo estava tremendamente errado. Por fim, o velho amigo de Einstein, Max Born, propôs uma das soluções mais controvertidas para esse quebra-cabeça. Em 1926, Born deu o passo decisivo, argumentando que a onda de Schrödinger não descrevia de modo algum o elétron, mas apenas a *probabilidade* de encontrar o elétron. Ele declarou que "o movimento das partículas segue leis probabilísticas, mas a própria probabilidade se propaga em conformidade com as leis da causalidade".[16] Nesse panorama novo, a matéria consistia realmente em partículas, não ondas. As marcas captadas em chapas fotográficas são os rastos deixados por partículas puntiformes, não ondas. Mas a chance de encontrar a partícula em qualquer ponto dado era fornecida por uma onda. (Mais precisamente, o quadrado do módulo da onda de Schrödinger representa a probabilidade de encontrar a partícula em um ponto específico no espaço e tempo.) Desse modo, não importava se a onda de Schrödinger se espalhava com o tempo. Aquilo significava apenas que, se se deixasse um elétron livre, com o tempo ele iria perambular sem rumo e não se saberia ao certo onde ele estava. Todos os paradoxos agora estavam solucionados: a onda de Schrödinger não era a própria partícula, mas representava a chance de encontrá-la.

Werner Heisenberg levou este raciocínio um passo à frente. Ele tivera longos debates com Bohr sobre os enigmas da probabilidade que infestavam essa nova teoria, muitas vezes descambando em discussões acaloradas com o colega mais velho. Um dia, após uma noite frustrante enfrentando a questão das probabilidades, fez um longo passeio pelo parque Faelled, atrás da universidade, perguntando-se insistentemente como era possível não conseguir saber a localização precisa de um elétron. Como é que a localização de um elétron pode ser incerta, como alegava Born, se podemos medir onde ele está?

Foi aí que teve um estalo, e tudo se tornou claro. Para saber onde estava um elétron, era

necessário observá-lo. Isto significava iluminá-lo com um raio de luz. Mas os fótons do raio de luz colidiriam com o elétron, tornando incerta sua posição. Em outras palavras, o ato da observação forçosamente introduzia uma incerteza. Daí ele extraiu um novo princípio da física, o da incerteza, que afirma que *não é possível determinar ao mesmo tempo a localização e a velocidade de uma partícula.* (Mais precisamente, o produto da incerteza da posição e momento deve ser superior ou igual à constante de Planck dividida por 4p). Isto não era apenas um subproduto da rudeza de nossos instrumentos; era uma lei fundamental da natureza. Mesmo Deus não poderia saber tanto a posição quanto o momento precisos de um elétron.

Este foi o momento decisivo em que a teoria quântica mergulhou em águas profundas e totalmente inexploradas. Até então, podia-se alegar que os fenômenos quânticos eram estatísticos, representando os movimentos médios de trilhões de elétrons. Agora, mesmo os movimentos de um elétron individual não podiam ser definitivamente determinados. Einstein ficou horrorizado. Ele se sentiu quase traído ao saber que seu bom amigo Max Born estava abandonando o determinismo, uma das idéias mais apreciadas em toda a física clássica. O determinismo sustenta, em essência, que se pode prever o futuro se se souber tudo sobre o presente. Por exemplo, a grande contribuição de Newton à física foi o fato de que ele conseguia prever o movimento dos cometas, satélites e planetas, por meio de suas leis do movimento, uma vez que soubesse o estado presente do sistema solar. Durante séculos, os físicos se maravilharam com a precisão das leis de Newton, capazes de prever a posição de corpos celestes em princípio até milhões de anos no futuro. Na verdade, até aquela época, toda a ciência estava baseada no determinismo. Ou seja, um cientista pode prever o resultado de um experimento se souber a posição e a velocidade de todas as partículas. Os seguidores de Newton sintetizaram essa crença comparando o universo a um relógio gigantesco. Deus deu corda nesse relógio no princípio do tempo, e ele vem funcionando regularmente desde então de acordo com as leis do movimento de Newton. Se você souber a posição e velocidade de cada átomo do universo, poderá, mediante as leis do movimento de Newton, calcular a evolução subseqüente do universo com precisão infinita. Contudo, o princípio da incerteza negava tudo isto, afirmando ser impossível prever o estado futuro do universo. Dado um átomo de urânio, por exemplo, jamais se conseguiria calcular quando ele irá decair. O máximo que se consegue saber é a probabilidade de que isso aconteça. Na verdade, nem Deus ou uma divindade sabia quando o átomo de urânio iria decair.

Em dezembro de 1926, em resposta ao artigo de Born, Einstein escreveu:

> A mecânica quântica merece grande respeito. Mas uma voz interior me diz que este não é o verdadeiro Jacó.* A teoria oferece muita coisa, mas não nos aproxima muito mais do segredo do Homem Lá em Cima. De minha parte, estou convencido de que Ele não joga dados.[17]

Ao comentar a teoria de Heisenberg, Einstein observou: "Heisenberg pôs um grande ovo quântico. Em Göttingen eles acreditam nesse ovo (eu não)".[18] O próprio Schrödinger detestou essa idéia. Ele certa vez afirmou que, se sua equação representava apenas probabilidades, ele se arrependia de ter sido autor dela. Einstein observou que teria preferido se tornar um "sapateiro

ou funcionário de um cassino" se soubesse de antemão que a revolução quântica que ajudou a desencadear iria introduzir o acaso na física.[19]

Os físicos estavam começando a se dividir em duas facções.[20] Einstein liderou uma delas, que ainda se aferrava à crença no determinismo, uma idéia que remontava ao próprio Newton e que havia orientado os físicos durante séculos. Schrödinger e De Broglie eram aliados. A outra facção, bem maior, foi liderada por Niels Bohr, que acreditava na incerteza e defendia uma nova versão da causalidade, baseada em médias e probabilidades.

Bohr e Einstein eram, em certo sentido, o avesso um do outro também em outros aspectos. Enquanto Einstein, quando rapaz, detestava esportes e vivia grudado nos livros de geometria e filosofia, Bohr era um conhecido astro do futebol na Dinamarca. Enquanto Einstein falava vigorosa e dinamicamente, escrevia de modo quase lírico e se envolvia em diálogos espirituosos com jornalistas e até com a realeza, Bohr era rígido, muito rabugento, costumava ser inexpressivo e inaudível e tinha o hábito de repetir a mesma palavra sem parar quando absorto em pensamentos. Enquanto Einstein era capaz de escrever sem esforço um texto elegante e bonito, Bohr tinha bloqueio quando precisava escrever um artigo. Quando aluno do curso secundário, costumava ditar todos os seus trabalhos à mãe. Depois que se casou, passou a ditá-los à esposa (chegando a interromper a lua-de-mel para ditar um artigo longo e importante). Às vezes, mobilizava seu laboratório inteiro na revisão de seus artigos, em certa ocasião mais de cem vezes, perturbando totalmente o trabalho. (Certa ocasião, quando pediram a Wolfgang Pauli que fizesse uma visita a Bohr em Copenhague, ele respondeu: "Se a última prova já tiver sido enviada, eu irei".)[21] Ambos, porém, viviam obcecados por seu primeiro amor: a física. Bohr, na verdade, era capaz de rabiscar equações na trave durante um jogo de futebol se sentisse uma súbita inspiração. Ambos também aguçavam seus pensamentos valendo-se dos outros como caixas de ressonância para as próprias idéias. (Estranhamente, Bohr só conseguia avançar se tivesse auxiliares em torno que comentassem suas idéias. Sem um auxiliar cujos ouvidos pudesse alugar, ele não conseguia nada.)

O confronto deu-se enfim na VI Conferência Solvay, em Bruxelas, em 1930. O que estava em jogo era nada menos que a natureza da própria realidade. Einstein não deu trégua a Bohr, que penou sob os ataques constantes, mas conseguiu defender com habilidade suas posições. Por fim, Einstein apresentou uma "experiência imaginária" elegante, que achou que demoliria o "demônio", o princípio da incerteza: imagine uma caixa contendo radiação. Existe um buraco na caixa com um obturador. Quando aberto brevemente, o obturador libera um único fóton da caixa. Desse modo, podemos medir com grande certeza o momento preciso em que o fóton foi emitido. Mais tarde, a caixa pode ser pesada. Devido à liberação do fóton, a caixa pesa menos. Devido à equivalência de matéria e energia, podemos agora saber a energia total que a caixa contém, também com grande precisão. Portanto, sabemos agora a energia total e a hora da abertura do obturador com precisão absoluta, sem nenhuma incerteza, de modo que o princípio da incerteza está errado. Einstein achou que tivesse enfim encontrado a ferramenta para demolir a nova teoria quântica.

Paul Ehrenfest, um dos participantes da conferência e testemunha dessa batalha feroz, escreveria:

> Para Bohr, aquele foi um rude golpe. Naquele momento, ele não via nenhuma solução. Mostrou-se extremamente aborrecido pelo resto da noite, andou de uma pessoa para outra, tentando persuadi-las de que aquilo não poderia ser verdade, porque se Einstein estivesse certo seria o fim da física. Mas não lhe ocorria nenhuma refutação. Jamais esquecerei a visão dos dois oponentes deixando o clube da universidade. Einstein, uma figura majestosa, andando calmamente com um leve sorriso irônico, e Bohr com passos apressados ao seu lado, contrariadíssimo.[22]

Ao falar com Ehrenfest mais tarde naquela noite, tudo que Bohr conseguiu murmurar foi uma palavra, repetidamente: "Einstein... Einstein... Einstein". Mas, após uma noite intensa e insone, Bohr enfim descobriu o furo no argumento de Einstein e usou a própria teoria da relatividade para derrotá-lo. Bohr observou que, por pesar menos que antes, a caixa se elevaria ligeiramente na gravidade da Terra. Mas, de acordo com a relatividade geral, o tempo se acelera à medida que a gravidade enfraquece (de modo que o tempo avança mais rápido na Lua, por exemplo). Desse modo, qualquer incerteza minúscula na medição do tempo do obturador se traduziria em uma incerteza na medição da posição da caixa. Não é possível, portanto, medir a posição da caixa com certeza absoluta. Além disso, qualquer incerteza no peso da caixa se refletirá em uma incerteza em sua energia e também no seu momento, de modo que não é possível saber o momento da caixa com certeza absoluta. Quando tudo é reunido, as duas incertezas identificadas por Bohr, a incerteza da posição e a incerteza do momento, correspondem precisamente ao princípio da incerteza. Bohr havia defendido com sucesso a teoria quântica. Quando Einstein reclamou que "Deus não joga dados com o mundo", consta que Bohr teria replicado: "Pare de dizer para Deus o que Ele deve fazer".

No final, Einstein teve que admitir que Bohr havia refutado com sucesso seus argumentos. Einstein escreveria: "Estou convencido de que esta teoria sem dúvida contém alguma verdade definitiva".[23] Comentando o debate histórico Bohr-Einstein, John Wheeler disse que foi

> o maior debate da história intelectual de que tenho conhecimento. Em trinta anos, nunca ouvi falar de um debate entre dois mestres por um período de tempo maior sobre questões mais profundas com conseqüências mais profundas para a compreensão desse nosso estranho mundo.[24]

Schrödinger, que também detestou essa nova interpretação de suas equações, propôs seu célebre problema do gato para solapar o princípio da incerteza. Schrödinger escreveu sobre a mecânica quântica: "Não gosto dela, e sinto muito por ter me envolvido com ela".[25] O problema mais ridículo, ele escreveu, era o de um gato preso numa caixa. Dentro da caixa existe uma garrafa de ácido cianídrico, um gás venenoso. Um contador Geiger ligado a uma porção de substância radioativa aciona o martelo que quebra a garrafa. Não há dúvida de que o decaimento radioativo é um efeito quântico. Se o urânio não decair, o gato estará vivo. Mas se um átomo decair, deflagrará o contador, que acionará o martelo, que quebrará o vidro, causando a morte do gato. Porém, de acordo com a teoria quântica, não podemos prever

quando o átomo de urânio decairá. Em princípio, ele pode existir ao mesmo tempo em ambos os estados: intacto e decaído. Mas se o átomo de urânio pode existir simultaneamente nos dois estados, então o gato também deve existir em ambos os estados. De modo que a pergunta é: o gato está morto ou vivo?

Normalmente, esta é uma pergunta cretina. Mesmo que não possamos abrir a caixa, o senso comum nos diz que o gato ou bem está morto, ou bem está vivo. Não se pode estar morto e vivo simultaneamente; isto violaria tudo que sabemos sobre o universo e a realidade física. No entanto, a teoria quântica fornece uma resposta estranha. A resposta final é: na verdade não sabemos. Antes de se abrir a caixa, o gato é representado por uma onda, e ondas podem ser somadas, como os números. Temos que somar a função de onda de um gato morto àquela de um gato vivo. *Desse modo, o gato não está nem morto nem vivo antes de se abrir a caixa.* Trancado dentro da caixa, tudo que se pode dizer é que há ondas que representam o gato morto e vivo ao mesmo tempo.

Uma vez que abrimos a caixa, podemos fazer uma medição e verificar se o gato está morto ou vivo. O processo de medição por um observador externo permite "colapsar" a função de onda e determinar o estado preciso do gato. Aí ficamos sabendo se o gato está morto ou vivo. O segredo está no processo de medição por um observador externo. Quando ele ilumina o interior da caixa, a função de onda colapsou e o objeto subitamente assume um estado definitivo.

Em outras palavras, o processo de observação determina o estado final de um objeto. O ponto fraco da interpretação da escola de Copenhague de Bohr reside na pergunta: os objetos realmente existem antes de se fazer uma medição? Para Einstein e Schrödinger, tudo isto parecia absurdo. Pelo resto da vida, Einstein lidaria com essas questões filosóficas profundas (que até hoje são objeto de debates intensos).

Vários aspectos perturbadores desse quebra-cabeça chocaram profundamente Einstein. Para começar, antes que uma medição seja feita, existimos como a soma de todos os universos possíveis. Não podemos afirmar com certeza se estamos mortos ou vivos, se os dinossauros ainda estão vivos ou se a Terra foi destruída bilhões de anos atrás. Todos os eventos, antes que uma medição seja feita, são possíveis. Depois, parece que o processo de observação cria realidade! Desse modo, temos um nova guinada no velho enigma filosófico que põe em dúvida que uma árvore tenha caído na floresta, já que ninguém viu. Um newtoniano argumentaria que a árvore pode cair, a despeito da observação. Mas alguém da escola de Copenhague diria que a árvore pode existir em todos os estados possíveis (caída, de pé, na forma de muda, queimada, podre etc.) até que venha a ser observada, ponto em que de súbito ganha existência. Assim sendo, a teoria quântica acrescenta uma interpretação totalmente inesperada: observar a árvore *determina* o estado da árvore, ou seja, se ela caiu ou não.

Desde a época no escritório de patentes, Einstein sempre teve um talento incomum para isolar a essência de qualquer problema. Ele costumava, portanto, fazer esta pergunta às visitas em sua casa: "A Lua existe porque um camundongo a observa?".[26] Se a escola de Copenhague estiver correta, em certo sentido a Lua adquire existência quando um camundongo a observa e sua função de onda colapsa. Através das décadas, uma série de "soluções" foram oferecidas

para o problema do gato, nenhuma delas totalmente satisfatória. Embora quase ninguém conteste a validade da própria mecânica quântica, essas questões permanecem como alguns dos maiores desafios filosóficas em toda a física.

"Pensei cem vezes mais nos problemas quânticos do que na teoria da relatividade geral", escreveu Einstein sobre sua obsessão pelos fundamentos da teoria quântica.[27] Após muita reflexão, Einstein contra-atacou com o que lhe pareceu a crítica definitiva à teoria quântica. Em 1933, com seus alunos Boris Podolsky e Nathan Rosen, propôs um novo experimento que até hoje causa dor de cabeça em muitos físicos quânticos, bem como nos filósofos. O "experimento EPR" pode não ter demolido a teoria quântica, como Einstein esperava que ocorresse, mas conseguiu provar que, se já era bem extravagante, vai ficando cada vez mais estranha. Suponhamos que um átomo emita dois elétrons em direções opostas. Cada elétron está girando feito um pião, apontando para cima ou para baixo. Suponhamos ainda que estejam girando em direções opostas, de modo que o *spin* total é zero, embora não se saiba em que direções estão girando. Por exemplo, um elétron pode estar girando para cima, enquanto o outro gira para baixo. Se se esperar bastante tempo, esses elétrons poderão estar separados por bilhões de quilômetros. Antes de fazer uma medição, não se sabe os *spins* dos elétrons.

Agora suponhamos que enfim seja medido o *spin* de um elétron. Descobre-se, por exemplo, que ele está girando para cima. Então instantaneamente sabe-se o *spin* do outro elétron, embora esteja a anos-luz de distância — como seu *spin* é o oposto do companheiro, deve estar girando para baixo. Isto significa que uma medição numa parte do universo instantaneamente determina o estado de um elétron do outro lado do universo, numa aparente violação da relatividade restrita. Einstein chamou isto de "ação fantasmagórica à distância".[28] As implicações filosóficas são surpreendentes. Significa que alguns átomos em nosso corpo podem estar associados, através de uma rede invisível, a átomos do outro lado do universo, de modo que movimentos em nosso corpo podem afetar instantaneamente o estado de átomos a bilhões de anos-luz de distância, em aparente violação da relatividade restrita. Einstein não gostou da idéia porque ela implicava que *o universo era não-local*; ou seja, eventos aqui na Terra instantaneamente afetam eventos do outro lado do universo, deslocando-se além da velocidade da luz.

Ao saber dessa nova objeção à mecânica quântica, Schrödinger escreveu para Einstein: "Fiquei muito contente com o fato de que você, naquele artigo, evidentemente pegou a mecânica quântica dogmática pela aba".[29] Sabendo do último artigo de Einstein, o colega de Bohr, Leon Rosenfeld, escreveu: "Paramos tudo; tínhamos que esclarecer logo tal mal-entendido. Bohr, com grande entusiasmo, num instante começou a ditar o rascunho de uma réplica".[30]

A escola de Copenhague enfrentou o desafio, mas a um preço: Bohr teve de admitir para Einstein que o universo quântico era de fato não-local (ou seja, eventos em uma parte do universo podem instantaneamente afetar outra parte do universo). Tudo no universo está de algum modo enredado em um "emaranhamento" cósmico. Desse modo, o experimento de EPR não refutou a mecânica quântica; ele apenas revelou como ela é louca. (No decorrer dos anos, o experimento passou a ser mal compreendido, com dezenas de especulações de que se poderia

construir um rádio EPR mais rápido que a luz, que podemos enviar sinais retrocedendo no tempo ou que podemos usar esse efeito para a telepatia.)

Entretanto, o experimento de EPR não negou a relatividade. Nesse sentido, Einstein riu por último. Nenhuma informação útil pode ser transmitida mais rápido que a luz através do experimento de EPR. Por exemplo, não é possível enviar código Morse além da velocidade da luz através do aparato de EPR. O físico John Bell usou o seguinte exemplo para explicar o problema. Ele descreveu um matemático chamado Bertlmann que sempre usava uma meia rosa e outra verde. Se você soubesse que um pé estava com a meia verde, sabia imediatamente que a outra era rosa. No entanto, nenhum sinal ia de um pé para o outro. Em outras palavras, saber algo é totalmente diferente de enviar esse conhecimento. Existe um mundo de diferença entre a posse da informação e a sua transmissão.

No final da década de 1920, dois grandes ramos dominavam a física: relatividade e teoria quântica. A soma total de todos os conhecimentos humanos sobre o universo físico podia ser sintetizada por essas duas teorias. Uma teoria, a relatividade, fornecia uma visão do muito grande, uma teoria do Big-Bang e dos buracos negros. A outra teoria, a quântica, fornecia uma visão do muito pequeno, o mundo estranho do átomo. Embora a teoria quântica se baseasse em idéias contrárias ao senso comum, ninguém podia negar seus sucessos experimentais notáveis. Prêmios Nobel estavam sendo concedidos aos montes a físicos jovens dispostos a aplicar a teoria quântica. Einstein era um físico experiente demais para ignorar as revoluções efetuadas quase diariamente pela teoria quântica. Ele não contestou seus sucessos experimentais. A mecânica quântica era a "teoria física mais bem-sucedida de nosso período", admitiria.[31] Tampouco impediu o desenvolvimento da mecânica quântica, como um físico medíocre poderia ter feito. (Em 1929, Einstein recomendou que Schrödinger e Heisenberg compartilhassem o prêmio Nobel.) Em vez disso, Einstein mudou de estratégia. Ele deixou de atacar a teoria como incorreta. Sua nova estratégia foi absorver a teoria quântica em sua teoria do campo unificado. Quando o exército de críticos do grupo de Bohr o acusou de ignorar o mundo quântico, ele contra-atacou dizendo que seu verdadeiro objetivo era bem ambicioso: incorporar a teoria quântica como um todo em sua nova teoria. Einstein usou uma analogia extraída de seu próprio trabalho. A relatividade não provou que a teoria newtoniana estivesse completamente errada. Mostrou apenas que era incompleta, que podia ser subordinada a uma teoria maior. Desse modo, a mecânica newtoniana é perfeitamente válida em seu domínio específico: o das velocidades baixas e objetos grandes. De forma semelhante, Einstein acreditava que as suposições estranhas da teoria quântica sobre gatos ao mesmo tempo mortos e vivos poderiam ser explicadas por uma teoria superior. Nesse aspecto, legiões de biógrafos de Einstein se equivocaram. O objetivo de Einstein não foi provar que a teoria quântica estava errada, como alegaram muitos de seus críticos. Ele tem sido muitas vezes retratado como o último dinossauro da física clássica, o rebelde envelhecido que acabou se tornando o porta-voz da reação. O verdadeiro objetivo de Einstein foi expor a incompletude da teoria quântica e usar a teoria do campo unificado para completá-la. Na verdade, um dos critérios para a teoria do campo unificado era que ela reproduzisse o princípio da incerteza com certa aproximação.

A estratégia de Einstein foi usar a relatividade geral e sua teoria do campo unificado para

explicar a origem da própria matéria, *para construir a matéria a partir da geometria.* Em 1935, Einstein e Nathan Rosen investigaram uma nova maneira pela qual partículas quânticas como o elétron surgiriam naturalmente como conseqüência de sua teoria, não como objetos fundamentais. Desse modo, ele esperava derivar a teoria quântica sem precisar enfrentar o problema das probabilidades e acaso. Na maior parte das teorias, as partículas elementares surgem como singularidades, ou seja, regiões onde as equações explodem. Pense nas equações de Newton, por exemplo, em que a força é dada pela razão inversa do quadrado da distância entre dois objetos. Quando esta distância cai para zero, a força da gravidade vai para infinito, dando-nos uma singularidade. Como Einstein queria derivar a teoria quântica de uma teoria mais profunda, raciocinou que precisava de uma teoria totalmente livre de singularidades. (Exemplos disso existem em teorias quânticas simples. Chamam-se "sólitons" e parecem torções no espaço; ou seja, são contínuos, não singulares e podem ricochetear uns nos outros e preservar a mesma forma.)

Einstein e Rosen propuseram uma nova forma de obter tal solução. Começaram com dois buracos negros de Schwarzschild, definidos em duas folhas de papel paralelas. Com uma tesoura, era possível cortar fora cada singularidade de buraco negro e colar as duas folhas. Desse modo, obtém-se uma solução contínua, livre de singularidades, que Einstein achou que poderia representar uma partícula subatômica. Assim, *partículas quânticas podem ser vistas como buracos negros minúsculos.* (Esta idéia foi revivida sessenta anos depois na teoria das cordas, em que relações matemáticas podem transformar partículas subatômicas em buracos negros e vice-versa.)

Esta "ponte de Einstein-Rosen", porém, pode ser vista sob outro ângulo. Ela representa a primeira menção na literatura científica a um "buraco de minhoca" que conecta dois universos. Buracos de minhoca são atalhos pelo espaço e tempo, como um portão que liga duas folhas de papel paralelas. O conceito de buracos de minhoca foi apresentado ao público por Charles Dodgson (também conhecido pelo pseudônimo Lewis Carroll), o matemático de Oxford que se celebrizou como autor de *Alice no País das Maravilhas* e *Alice através do espelho.* Quando Alice enfia a mão através do espelho, está adentrando uma espécie de ponte de Einstein-Rosen que liga dois universos: o estranho País das Maravilhas e a zona rural de Oxford. Claro que se percebeu que quem caísse por uma ponte de Einstein-Rosen morreria esmagado pela força gravitacional intensa, suficiente para desagregar seus átomos. A passagem pelo buraco de minhoca para um universo paralelo era impossível se o buraco negro fosse estacionário. (Decorreriam sessenta anos até que o conceito de buracos de minhoca desempenhasse um papel-chave na física.)

Einstein acabou desistindo desta idéia, em parte por não conseguir explicar a riqueza do mundo subatômico. Ele não conseguiu explicar totalmente todas as propriedades curiosas da "madeira" em termos de "mármore". Havia características demais das partículas subatômicas (por exemplo, massa, *spin*, carga, números quânticos etc.) que não conseguiam surgir a partir de suas equações. Seu objetivo era encontrar o modelo que revelasse a teoria do campo unificado em todo o seu esplendor, mas um problema crucial era que na época as propriedades da força nuclear não eram bem conhecidas. Einstein estava trabalhando décadas antes que os

dados dos poderosos desintegradores de átomos viessem a esclarecer a natureza da matéria subatômica. Como resultado, o modelo nunca surgiu.



* Os patriarcas bíblicos estavam em estreito contato com Deus. Jacó especificamente sonhou com uma escada que levava ao céu. [N. T.]

CAPÍTULO 8
GUERRA, PAZ E E = MC2

Na década de 1930, com o mundo às voltas com a terrível Grande Depressão, o caos voltou a perturbar as ruas da Alemanha. Com o colapso da moeda, a classe média trabalhadora viu-se privada, da noite para o dia, das economias de toda uma vida. O emergente Partido Nazista alimentou-se da miséria e do ressentimento do povo alemão, concentrando sua ira no bode expiatório mais conveniente: os judeus. Logo, com o apoio de industriais poderosos, os nazistas tornaram-se a maior força do Reichstag, o parlamento alemão. Einstein, que resistira aos anti-semitas durante anos, percebeu que dessa vez sua vida corria perigo. Embora pacifista, também era realista, ajustando seus pontos de vista à luz da ascensão meteórica do Partido Nazista. "Isto significa que me oponho ao uso da força sob quaisquer circunstâncias, a não ser quando confrontado por um inimigo que busca a destruição da vida como um fim em si mesmo", escreveu.[1] Esta flexibilidade seria posta à prova.

Em 1931, foi publicado um livro chamado *Cem autoridades contra Einstein*, contendo toda sorte de calúnia anti-semita dirigida contra o físico famoso. "O propósito desta publicação é opor-se ao terror dos einsteinianos com um relato da força da oposição a eles", declarava raivosamente o documento.[2] Einstein mais tarde brincou que na verdade não havia necessidade de cem autoridades para destruir a relatividade. Se ela estivesse incorreta, um pequeno fato teria sido suficiente. Em dezembro de 1932, incapaz de resistir à onda crescente do nazismo, Einstein deixou a Alemanha para sempre. Levou Elsa para se despedirem da casa de campo em Caputh e disse com tristeza: "Dê meia-volta, você nunca mais vai vê-la".[3] A situação deteriorou-se substancialmente em 30 de janeiro de 1933, quando os nazistas, já o maior bloco do parlamento, acabaram subindo ao poder, e Adolf Hitler foi nomeado chanceler da Alemanha. Os nazistas confiscaram a residência de Einstein e sua conta bancária, deixando-o sem um tostão, e desapropriaram a querida casa de campo de Caputh, alegando ter encontrado lá uma arma perigosa. (Mais tarde se constatou que foi uma faca de pão. A casa de Caputh foi usada durante o Terceiro Reich pela Nazi Bund Deutsches Mädel, a Liga Nazista das Moças Alemãs.) Em 10 de maio, os nazistas queimaram em praça pública livros proibidos, entre eles obras de Einstein. Naquele ano, ele escreveu ao povo belga, que estava à sombra da Alemanha: "Nas condições atuais, se eu fosse belga, não me recusaria a prestar o serviço militar".[4] Suas observações foram divulgadas pela mídia internacional, atraindo o desprezo imediato tanto dos nazistas como dos colegas pacifistas, muitos dos quais acreditavam que a única maneira de enfrentar Hitler era por meios pacíficos. Einstein, percebendo a tremenda

brutalidade do regime nazista, permaneceu firme: "Os antimilitaristas estão caindo em cima de mim como se eu fosse um renegado perverso [...] esses sujeitos simplesmente usam antolhos".[5]

Forçado a deixar a Alemanha, Einstein, o viajante internacional, voltou a ser uma pessoa sem pátria. Em sua passagem pela Inglaterra, em 1933, parou para visitar Winston Churchill em sua propriedade. No livro de visitantes de Churchill, no item "endereço", Einstein escreveu: "Nenhum". Agora um dos principais alvos do ódio nazista, Einstein tinha de tomar cuidado com sua segurança pessoal. Uma revista alemã que listou os inimigos do regime nazista estampou a foto de Einstein na capa com a legenda: "Ainda não enforcado". Os anti-semitas se orgulhavam em dizer que, se conseguiram expelir Einstein para fora da Alemanha, poderiam fazer o mesmo com todos os cientistas judeus. Nesse ínterim, os nazistas promulgaram uma nova lei exigindo a demissão de todos os funcionários públicos judeus, um desastre imediato para a física alemã. Nove laureados com o Nobel tiveram de deixar o país devido à nova lei, e 1700 professores universitários foram despedidos no primeiro ano, causando uma grande hemorragia na ciência e tecnologia alemãs. O êxodo para fora da Europa controlada pelos nazistas foi colossal, gerando, para todos os efeitos, um vazio entre a elite científica.

Max Planck, o eterno conciliador, apesar dos esforços dos colegas, não quis fazer oposição pública a Hitler. Preferiu usar canais particulares e chegou a se encontrar pessoalmente com Hitler em maio de 1933, num último apelo para impedir o colapso da ciência alemã. Planck escreveria:

> Eu esperava convencê-lo de que estava infligindo um enorme dano [...] ao expulsar nossos colegas judeus e mostrar como era insensato e totalmente imoral perseguir homens que sempre se julgaram alemães e que haviam oferecido suas vidas pela Alemanha, como todos os outros.[6]

Naquela reunião, Hitler disse que nada tinha contra os judeus, mas que eram todos comunistas. Quando Planck tentou responder, Hitler gritou de volta para ele: "Dizem que tenho ataques de fraqueza nervosa, mas tenho nervos de aço!".[7] Ele então bateu no joelho e continuou sua arenga contra os judeus. Planck lastimaria: "Não consegui me fazer entender. Simplesmente não existe uma língua em que se possa falar com esses homens".[8]

Todos os colegas judeus de Einstein tiveram que deixar a Alemanha para salvar a vida. Leo Szilard partiu com todas as suas economias enfiadas nos sapatos. Fritz Haber deixou a Alemanha em 1933 com destino à Palestina. (Por ironia, como cientista alemão patriota, ele ajudara a desenvolver um gás venenoso para o exército alemão, produzindo o famoso gás Zyklon B. Mais tarde, seu próprio gás foi usado para matar muitos membros de sua família no campo de concentração de Auschwitz.) Erwin Schrödinger, que não era judeu, também foi vítima da histeria. Em 31 de março de 1933, quando os nazistas declararam um boicote nacional a todas as lojas de judeus, encontrava-se diante da grande loja de departamentos de Berlim Wertheim's, de propriedade de judeus, quando presenciou tropas de assalto com suásticas nazistas espancando lojistas judeus, enquanto a polícia e o povo observavam e riam. Schrödinger indignou-se e repreendeu um dos arruaceiros. Foi aí que as tropas de assalto passaram a espancá-lo também. Ele poderia ter sido gravemente ferido, mas um jovem físico

ostentando uma suástica logo reconheceu Schrödinger e conseguiu levá-lo a um canto seguro.[9] Abaladíssimo, Schrödinger trocou a Alemanha pela Inglaterra e a Irlanda.

Em 1943, os nazistas ocuparam a Dinamarca, e Bohr, que era em parte judeu, ia ser morto. Por um triz não foi capturado pela Gestapo, conseguindo fugir para a neutra Suécia e depois voar até a Grã-Bretanha, embora quase tenha morrido sufocado no avião devido a uma máscara de oxigênio defeituosa. Planck, um patriota leal que nunca deixou a Alemanha, também sofreu terrivelmente. Seu filho foi preso por tentar assassinar Hitler, sendo torturado e mais tarde executado pelos nazistas.

Einstein, embora no exílio, viu-se assediado por ofertas de emprego do mundo inteiro. Universidades de destaque da Inglaterra, Espanha e França queriam atrair aquela figura de fama internacional. Anteriormente, ele havia sido professor visitante da Universidade de Princeton. Passava os invernos em Princeton e os verões em Berlim. Abraham Flexner, representando um novo instituto a ser criado em Princeton, em grande parte com uma dotação de 5 milhões de dólares da fortuna de Bamberger, encontrara-se várias vezes com Einstein e o consultara sobre a possibilidade de mudar-se para o novo instituto. O que atraía Einstein era o fato de que teria liberdade para viajar e estaria livre de tarefas docentes. Se bem que fosse um conferencista popular, sempre divertindo as platéias com suas graças e encantando a realeza com casos engraçados, o magistério e as palestras o estavam desviando de sua adorada física.

Um colega alertou Einstein que vir de uma vez para os Estados Unidos era como "cometer suicídio". Os Estados Unidos, antes do súbito afluxo de cientistas judeus fugitivos da Alemanha nazista, era considerado um país cientificamente atrasado, quase sem instituições de ensino superior capazes de competir com as européias. Defendendo sua opção, Einstein escreveu para a rainha Elizabeth da Bélgica:

> Princeton é um lugarejo maravilhoso [...] um vilarejo curioso e cerimonioso de semideuses insignificantes em pernas de pau. Ignorando certas convenções especiais, consegui criar para mim uma atmosfera propícia ao estudo e livre de distrações.[10]

A notícia de que Einstein se havia fixado nos Estados Unidos correu o mundo. O "papa da física" deixara a Europa. O novo Vaticano seria o Instituto de Estudos Avançados de Princeton.

Quando mostraram a Einstein seu novo escritório, perguntaram do que ele precisava. Além de uma escrivaninha e cadeira, ele disse que precisava de uma "lata de lixo grande [...] assim eu posso jogar fora todos os meus erros".[11] (Parece que o instituto fez uma oferta a Erwin Schrödinger. Mas este, ao que se comenta, que muitas vezes estava acompanhado da esposa e da amante e praticava um "casamento aberto" com uma longa lista de namoradas, achou a atmosfera ali por demais sufocante e conservadora.) A população americana ficou fascinada com o novo morador de Nova Jersey, que imediatamente se transformou no cientista mais famoso do país. Logo, tornou-se uma figura familiar a todos. Dois europeus, numa aposta, enviaram uma carta endereçada simplesmente ao "Dr. Einstein, Estados Unidos" para ver se chegaria ao destinatário. Chegou.[12]

A década de 1930 foi difícil para a vida pessoal de Einstein. Seus piores temores quanto ao

filho Eduard (carinhosamente apelidado de Tedel) se confirmaram quando ele enfim sofreu um colapso nervoso, em 1930, após um romance fracassado com uma mulher mais velha. Ele foi encaminhado ao hospital psiquiátrico Burghozli, em Zurique, o mesmo onde a irmã de Mileva ficara internada. Diagnosticado como esquizofrênico, teve de viver internado pelo resto da vida, a não ser por breves temporadas. Einstein, que sempre temeu que um de seus filhos pudesse herdar os problemas mentais da esposa, culpou a "hereditariedade crítica".[13] "Vi a doença chegando, de forma lenta mas irreversível, desde a infância de Tedel", escreveu com pesar.[14] Em 1933, seu amigo íntimo Paul Ehrenfest, que o acompanhou durante o desenvolvimento inicial da relatividade geral, mas sofria de depressão, acabou se suicidando, matando também a tiro seu filho deficiente mental.

Após uma doença prolongada e dolorosa, Elsa, que acompanhara Einstein por cerca de vinte anos, morreu em 1936. De acordo com os amigos, Einstein estava "totalmente arrasado".[15] A morte dela "rompeu o vínculo mais forte que ele teve com um ser humano".[16] Ele sofreu, mas aos poucos conseguiu se recuperar. Escreveria: "Acostumei-me muito bem à vida aqui. Vivo como um urso em minha toca. [...] Meu isolamento aumentou ainda mais com a morte de minha companheira, que era mais sociável do que eu".[17]

Após a morte de Elsa, ele viveu com a irmã Maja, que fugira dos nazistas, a enteada Margot e a secretária Helen Dukas. Iniciara a fase final de sua vida. Durante as décadas de 1930 e 1940, envelheceu rapidamente, e, sem Elsa para cuidar de sua aparência, a figura arrojada e carismática que deslumbrou reis e rainhas em seu smoking retornou ao velho estilo desleixado da juventude. Agora se tornava a figura de cabelos brancos lembrada com carinho pelo público, o sábio de Princeton, capaz de saudar com o mesmo bom humor as crianças e a realeza.

Para Einstein, porém, não havia descanso. Em Princeton, ele enfrentou mais um desafio: a tentativa de desenvolver uma bomba atômica. Já em 1905, especulara que sua teoria poderia explicar como uma pequena quantidade de rádio podia brilhar fortemente no escuro, seus átomos liberando grandes quantidades de energia sem nenhum limite aparente. Na verdade, a quantidade de energia encerrada no núcleo poderia facilmente ser 100 milhões de vezes maior que aquela armazenada em uma arma química. Em 1920, Einstein havia compreendido as enormes implicações práticas da energia encerrada no núcleo do átomo, ao escrever:

> Pode ser possível, e não é sequer improvável, que novas fontes de energia de enorme eficácia se tornem acessíveis, mas esta idéia não tem nenhum respaldo direto dos fatos conhecidos até agora. É muito difícil fazer profecias, mas isto está dentro do domínio do possível.[18]

Em 1921, ele até especulou que, em algum ponto remoto no futuro, a economia atual, baseada no carvão, poderia vir a ser substituída pela energia nuclear. Mas também percebeu com clareza dois problemas enormes. Para começar, esse fogo cósmico poderia ser usado para forjar uma bomba atômica, com conseqüências terríveis para a humanidade. Escreveu profeticamente: "Comparados aos seus efeitos destrutivos, todos os bombardeios somados, desde a invenção das armas de fogo, seriam brincadeira de criança".[19] Também escreveu que

uma bomba atômica poderia ser usada para desencadear o terrorismo nuclear e até uma guerra nuclear: "Supondo que fosse possível efetuar essa imensa liberação de energia, nos veríamos em uma época em que nosso presente negro como o carvão pareceria comparativamente dourado".[20]

Por último, e mais importante, ele percebeu o enorme desafio para se produzir tal arma. Na verdade, duvidou de que aquilo viesse a ser factível ainda durante a sua vida. Os problemas práticos de tomar o enorme poder encerrado num único átomo e ampliá-lo trilhões de vezes estavam além de quaisquer possibilidades na década de 1920. Ele escreveu que aquilo era tão difícil "como atirar em aves no escuro, numa região com poucas aves".[21]

Einstein percebeu que o segredo poderia ser multiplicar de algum modo a energia de um único átomo. Se fosse possível tomar a energia de um átomo e, depois, desencadear a liberação subseqüente de energia dos átomos vizinhos, essa energia nuclear poderia ser ampliada. Sugeriu que uma reação em cadeia poderia ocorrer se "os raios liberados [...] forem, por sua vez, capazes de produzir os mesmos efeitos".[22] Mas, na década de 1920, ele não tinha a menor idéia de como tal reação em cadeia poderia ser produzida. Claro que outras pessoas também cogitavam na idéia da energia nuclear, não para beneficiar a humanidade, mas com más intenções. Em abril de 1924, Paul Harteck e Wilhelm Groth informaram ao Departamento de Ordenança do Exército Alemão que "o país que a explorar primeiro terá uma vantagem incalculável sobre os demais".[23]

O problema de liberar essa energia é o seguinte: o núcleo de um átomo está positivamente carregado e, portanto, repele outras cargas positivas. Desse modo, o núcleo está protegido contra quaisquer colisões aleatórias que possam liberar sua energia quase ilimitada. Ernest Rutherford, cujo trabalho pioneiro levou à descoberta do núcleo do átomo, descartou a bomba atômica, afirmando que "quem espera uma fonte de energia da transformação desses átomos está dizendo besteira".[24] Esse impasse foi rompido drasticamente em 1932, quando James Chadwick descobriu uma partícula nova, o nêutron, um companheiro do próton no núcleo cuja carga é neutra. Se fosse possível lançar um feixe de nêutrons no núcleo, o nêutron não seria detido pelo campo elétrico ao redor do núcleo e poderia abalá-lo, liberando energia nuclear. A idéia ocorreu aos físicos: um feixe desses nêutrons poderia facilmente fissionar o átomo e desencadear uma bomba atômica.

Embora Einstein tivesse dúvidas quanto à possibilidade de uma bomba atômica, os eventos-chave que levaram à fissão nuclear estavam se acelerando. Em 1938, Otto Hahn e Fritz Strassmann, do Instituto Kaiser Wilhelm de física, em Berlim, eletrizaram o mundo da física ao fissionar o núcleo do urânio. Eles encontraram traços de bário após bombardear urânio com nêutrons, o que indicava que o núcleo do urânio se dividiu pela metade, criando bário no processo. Lise Meitner, cientista judia e colega de Hahn que havia fugido dos nazistas, e seu sobrinho Otto Frisch forneceram a base teórica que faltava para o resultado de Hahn. Os resultados mostraram que os escombros remanescentes do processo pesavam um pouco menos que o núcleo do urânio original. Era como se massa estivesse desaparecendo nessa reação. A fissão do átomo de urânio também liberou 200 milhões de elétrons-volts de energia, aparentemente surgidos do nada. Para onde ia a massa sumida, e de onde vinha a energia

misteriosa? Meitner percebeu que a equação de Einstein $E = mc^2$ encerrava o segredo do enigma. Tomando-se a massa sumida e multiplicando-a por $c2$, encontravam-se 200 milhões de elétrons-volts, exatamente de acordo com a teoria de Einstein. Bohr, quando informado dessa confirmação surpreendente da equação de Einstein, logo entendeu a importância do resultado. Ele bateu na testa e exclamou: "Oh, que tolos fomos todos nós!".[25]

Em março de 1939, Einstein informou ao *New York Times* que os resultados até então

> não justificam a suposição de um emprego prático das energias atômicas liberadas no processo. Entretanto, não existe nenhum físico de alma tão pobre que seu interesse por esse assunto importantíssimo se deixe afetar por isso.[26]

Por ironia, naquele mesmo mês, Enrico Fermi e Frédéric Joliot-Curie (genro de Marie Curie) descobriram que dois nêutrons podem ser liberados pela fissão do núcleo do urânio. Tratou-se de um resultado desconcertante. Se aqueles dois nêutrons pudessem prosseguir fissionando outros núcleos de urânio, o resultado seriam quatro nêutrons, depois oito, depois dezesseis, depois 32, *ad infinitum*, até que a energia inimaginável da força nuclear fosse liberada em uma reação em cadeia. Em uma fração de segundo, a fissão de um único átomo de urânio poderia desencadear a fissão de trilhões e trilhões de outros átomos de urânio, liberando quantidades inimagináveis de energia nuclear. Fermi, olhando por sua janela na Universidade de Colúmbia, refletiu tristemente que uma só bomba atômica poderia destruir tudo que ele estava vendo de Nova York.

A corrida havia começado. Alarmado com a velocidade dos eventos, Szilard temeu que os alemães, que eram líderes na física atômica, fossem os primeiros a desenvolver a bomba atômica. Em 1939, Szilard e Eugene Wigner foram ao encontro de Einstein, em Long Island, a fim de assinarem uma carta que seria encaminhada ao presidente Roosevelt.

A carta fatídica, uma das mais importantes da história do mundo, começava assim:

> Alguns trabalhos recentes de E. Fermi e L. Szilard, que me foram comunicados em manuscrito, me fazem acreditar que o elemento urânio possa ser transformado em uma nova e importante fonte de energia no futuro imediato.[27]

De maneira preocupante, a carta observava que Hitler havia invadido a Tchecoslováquia e isolado as minas de uraninita da Boêmia, rica fonte de minério de urânio. Depois a carta advertia:

> Uma só bomba desse tipo, transportada por barco ou explodida em um porto, poderia perfeitamente destruir o porto inteiro e parte do território circundante. Entretanto, tais bombas talvez se revelem pesadas demais para serem transportadas por ar.

Alexander Sachs, um assessor de Roosevelt, recebeu a carta para entregar ao presidente.

Quando Sachs perguntou a Roosevelt se ele entendera a gravidade extrema da carta, o presidente respondeu: "Alex, cabe a você tomar providências para que os nazistas não nos destruam". Ele se dirigiu ao general E. M. Watson e disse: "Isto requer ação".[28] Somente 6 mil dólares foram aprovados para a pesquisa de urânio do ano inteiro. Entretanto, o interesse pela bomba atômica recebeu um súbito incentivo quando o relatório secreto Frisch-Peierls chegou a Washington, no outono de 1941. Cientistas britânicos, que trabalhavam de modo independente, confirmaram todos os detalhes delineados por Einstein, e em 6 de dezembro de 1941 o Projeto de Engenharia Manhattan foi secretamente criado.

Sob a direção de J. Robert Oppenheimer, que havia trabalhado na teoria dos buracos negros de Einstein, centenas dos maiores cientistas do mundo foram contatados em segredo e depois enviados para Los Alamos, no deserto do Novo México. Em todas as grandes universidades, cientistas como Hans Bethe, Enrico Fermi, Edward Teller e Eugene Wigner partiram discretamente após receber um tapinha no ombro. (Nem todos estavam satisfeitos com o forte interesse na bomba atômica. Lise Meitner, cujo trabalho ajudou a desencadear o projeto, recusou-se com firmeza a participar de qualquer trabalho em torno da bomba. Ela foi a única cientista nuclear proeminente dos Aliados que não atendeu ao chamado para se juntar ao grupo de Los Alamos. "Não terei nada a ver com uma bomba!", afirmou categoricamente.[29] Anos depois, quando roteiristas de Hollywood tentaram glamourizá-la no filme *O início do fim*, como a mulher que corajosamente contrabandeou o projeto da bomba para fora da Alemanha nazista, ela respondeu: "Eu preferia descer nua pela Broadway a fazer parte desse esforço extravagante e indecente".[30])

Einstein percebeu que todos os seus colegas próximos em Princeton estavam subitamente desaparecendo, deixando um endereço postal misterioso em Santa Fé, Novo México. Mas o próprio Einstein nunca recebeu o tapinha no ombro e permaneceu durante toda a guerra em Princeton. O motivo foi revelado em documentos de guerra depois que deixaram de ser secretos. Vannevar Bush, chefe do Escritório de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e assessor de confiança de Roosevelt, escreveu: "Gostaria muito de poder apresentar a coisa toda para ele [Einstein] [...] mas isto é totalmente impossível diante da atitude de pessoas aqui em Washington que estudaram toda a sua história".[31] O FBI e o serviço de inteligência do exército concluíram que não se podia confiar em Einstein:

> Em vista de seus antecedentes radicais, este escritório não recomendaria o emprego do dr. Einstein, em assuntos de natureza secreta, sem uma investigação muito cuidadosa, já que parece improvável que um homem com seus antecedentes pudesse, em tão breve tempo, tornar-se um cidadão norte-americano leal.[32]

Aparentemente, o FBI não percebeu que Einstein já tomara conhecimento do projeto e, na verdade, foi quem originalmente ajudou a pô-lo nos trilhos.

A ficha de Einstein no FBI, que há pouco tempo deixou de ser secreta, tem 1427 páginas. J. Edgar Hoover investigou Einstein como sendo um espião comunista ou, na melhor hipótese, um ingênuo. A agência verificou cuidadosamente todos os rumores sobre ele, arquivando tudo. Mas o estranho é que o FBI não enfrentou o próprio Einstein, como se o temesse. Em vez disso,

os agentes preferiam entrevistar ou molestar as pessoas à sua volta. Como resultado, o FBI tornou-se um repositório de centenas de cartas de rabugentos e paranóicos. Em particular, foram arquivados relatos de que Einstein estava desenvolvendo algum tipo de raio mortal. Em maio de 1943, um tenente da marinha veio indagar se Einstein estaria disposto a trabalhar em armas e explosivos para a Marinha norte-americana. "Ele se sentia frustrado por ter sido preterido. Não havia sido convidado por ninguém para fazer algum trabalho de guerra", escreveu o tenente.[33] Einstein, sempre espirituoso, observou que estava agora na Marinha sem precisar raspar a cabeça.

O esforço intenso dos Aliados para desenvolver uma bomba atômica foi estimulado pelo temor de uma bomba alemã. Na realidade, o esforço de guerra alemão carecia de recursos e pessoal. Werner Heisenberg, o maior cientista quântico da Alemanha, foi posto à frente de uma equipe de cientistas para trabalharem no projeto alemão. No outono de 1942, quando os cientistas alemães perceberam que seriam precisos mais três anos de esforço intenso para produzir a bomba atômica, Albert Speer, o ministro dos armamentos nazista, decidiu arquivar temporariamente o projeto. Speer cometeu um erro estratégico, supondo que a Alemanha venceria a guerra em três anos, o que tornava a bomba desnecessária. Não obstante, continuou financiando a pesquisa em submarinos nucleares.

Heisenberg teve de enfrentar outros problemas. Hitler declarou que só seria financiado o desenvolvimento de armas que prometessem resultados em seis meses, um prazo impossível. Além da falta de verbas, os laboratórios alemães estavam sob ataque das forças Aliadas. Em 1942, um comando conseguiu explodir a fábrica de água pesada de Heisenberg em Vemork, Noruega. Ao contrário da decisão de Fermi de construir um reator baseado em carbono, os alemães optaram por erguer um reator de água pesada capaz de usar urânio natural, bem mais abundante que o raríssimo urânio-235. Em 1943, os Aliados atingiram Berlim duramente com bombardeios de saturação, forçando Heisenberg a transferir seu laboratório. O Instituto Kaiser Wilhelm de física foi evacuado para Hechingen, nas montanhas ao sul de Stuttgart. Heisenberg teve de construir o reator alemão num porão de pedra perto de Haigerloch. Sob a pressão e o bombardeio intensos, eles nunca conseguiram sustentar uma reação em cadeia.

Nesse ínterim, os físicos do Projeto Manhattan corriam para processar plutônio e urânio suficientes para quatro bombas atômicas. Ainda estavam fazendo cálculos até o momento da detonação decisiva em Alamogordo, Novo México. A primeira bomba, baseada em plutônio-239, foi detonada em julho de 1945. Após a vitória decisiva dos Aliados sobre os nazistas, muitos físicos acharam que a bomba seria desnecessária contra o inimigo remanescente, o Japão. Alguns acreditavam que uma bomba atômica de demonstração seria detonada em uma ilha deserta, testemunhada por uma delegação de autoridades japonesas, para adverti-las de que a rendição era inevitável. Outros chegaram a redigir uma carta ao presidente Harry Truman pedindo que não soltasse a bomba no Japão. Infelizmente, essa carta nunca foi entregue. Um cientista, Joseph Rotblatt, chegou a renunciar ao projeto da bomba atômica, afirmando que seu trabalho estava encerrado e que a bomba jamais deveria ser usada contra o Japão. (Ele ganharia mais tarde o prêmio Nobel da Paz.)

Mesmo assim, tomou-se a decisão de soltar não uma, mas duas bombas atômicas no Japão

em agosto de 1945. Einstein estava de férias no lago Saranac, em Nova York. Naquela semana, Helen Dukas ouviu a notícia pelo rádio. Ela recordou que

> dizia que um novo tipo de bomba havia sido atirada no Japão. Eu logo soube o que era porque tinha um conhecimento vago do negócio de Szilard. Quando o professor Einstein desceu para o chá, contei para ele, e ele disse: "*Oh, Weh*" [Meu Deus!].[34]

Em 1946, Einstein foi capa da *Time*.[35] Dessa vez, uma ameaça nuclear irrompia perigosamente atrás dele. O mundo de repente percebeu que a próxima guerra, a Terceira Guerra Mundial, poderia ser travada com bombas atômicas. Mas Einstein observou que a Quarta Guerra Mundial seria travada com pedras, já que as armas nucleares poderiam fazer a civilização retroceder milhares de anos. Naquele ano, Einstein tornou-se presidente do Comitê de Emergência de Cientistas Atômicos, talvez a primeira grande organização antinuclear, usada como plataforma para condenar o desenvolvimento contínuo de armas nucleares — e para defender uma de suas causas prediletas, o governo mundial.

Nesse ínterim, em meio à tempestade desencadeada pelas bombas atômica e de hidrogênio, Einstein preservou sua paz e sua saúde mental retornando teimosamente à sua física. Na década de 1940, trabalhos pioneiros continuavam sendo realizados nas áreas que ele ajudara a fundar, inclusive cosmologia e a teoria do campo unificado. Essa seria sua última tentativa de "ler a mente de Deus".

Após a guerra, Schrödinger e Einstein mantiveram uma animada correspondência transatlântica. Praticamente sozinhos, esses dois pais da teoria quântica resistiram à onda da mecânica quântica e concentraram-se na busca da unificação. Em 1946, Schrödinger confessou a Einstein: "Você está atrás de caça grande. Você está numa caça ao leão, enquanto eu estou falando de coelhos".[36] Encorajado por Einstein, Schrödinger continuou sua busca incansável de um tipo particular de teoria do campo unificado chamado "teoria de campo afim". Logo, Schrödinger completou sua própria teoria, convencendo-se de ter finalmente alcançado o que Einstein não conseguiu: a unificação de luz e gravidade. Maravilhado, considerou sua nova teoria um "milagre", uma "dádiva totalmente inesperada de Deus".

Trabalhando na Irlanda, Schrödinger se sentira isolado do mundo da física, reduzido a administrador de faculdade e físico ultrapassado. Agora estava convencido de que sua nova teoria poderia lhe render um segundo prêmio Nobel. Apressadamente, convocou uma grande entrevista coletiva à imprensa. O primeiro-ministro da Irlanda, Eamon De Valera, e outras figuras importantes compareceram à sua apresentação. Quando um repórter perguntou se estava muito confiante em sua teoria, ele respondeu: "Acredito que estou certo. Vou ficar com cara de idiota se estiver errado".[37] No entanto, Einstein logo viu que Schrödinger havia perseguido uma teoria que ele próprio descartara anos antes. Como escreveu o físico Freeman Dyson, o caminho que leva à teoria do campo unificado está juncado de cadáveres de tentativas fracassadas.

Sem esmorecer, Einstein continuou trabalhando na teoria do campo unificado, quase totalmente isolado do resto da comunidade da física. Na falta de um princípio físico norteador,

tentaria encontrar beleza e concisão em suas equações. Como disse certa vez o matemático G. H. Hardy:

> Os padrões matemáticos, como aqueles dos pintores ou poetas, precisam ser belos. As idéias, como as cores ou as palavras, precisam combinar de forma harmoniosa. A beleza é o primeiro teste. Não há lugar permanente para uma matemática feia.[38]

Mas sem algo como um princípio da equivalência para a teoria do campo unificado, Einstein ficou sem uma estrela guia. Lamentou o fato de que os outros físicos não viam o mundo como ele, mas jamais perdeu o sono por causa disso. Ele escreveria:

> Tornei-me um sujeito velho e solitário. Uma espécie de figura patriarcal conhecida sobretudo por não usar meias e exibido em diferentes ocasiões como uma excentricidade. Mas no meu trabalho sou mais fanático do que nunca e realmente tenho esperança de ter solucionado meus velhos problemas da unidade do campo físico. Mas é como estar num avião voando entre as nuvens, sem conseguir ver claramente como retornar à realidade, ou seja, a Terra.[39]

Einstein percebeu que, trabalhando em sua teoria do campo unificado em vez da teoria quântica, estava se isolando dos rumos principais das pesquisas no instituto. "Devo parecer uma ostra que enterra a cabeça na areia relativística para não enfrentar os *quanta* malévolos", lastimou.[40] No decorrer dos anos, outros físicos sussurrariam que ele estava em declínio e vivendo no passado, mas Einstein não se incomodava. "Costumo ser visto como uma espécie de objeto petrificado, tornado cego e surdo pelos anos. Este papel não me desagrada, já que corresponde perfeitamente ao meu temperamento", escreveu.[41]

Em 1949, em seu septuagésimo aniversário, uma celebração especial em homenagem a Einstein foi realizada pelo instituto. Dezenas de físicos vieram aplaudir o maior cientista da época e escreveram artigos para um livro em sua homenagem. Entretanto, pelo tom de alguns oradores e pelas entrevistas à imprensa, tornou-se aparente que alguns deles censuravam Einstein por sua posição sobre a teoria quântica. Seus partidários não gostaram daquilo, mas Einstein levou tudo na brincadeira. Um amigo da família, Thomas Bucky, observou que

> Oppenheimer caçoou de Einstein num artigo de revista com afirmações como: "Ele está velho. Ninguém mais liga para ele". Ficamos indignados com aquilo. Mas Einstein nem ligou. Ele simplesmente não acreditou na história e, mais tarde, Oppenheimer negou que tivesse dito aquelas palavras.[42]

Aquele era o jeito de Einstein: não levar os críticos muito a sério. Quando o livro em sua homenagem veio a lume, ele escreveu com bom humor: "Este não é um livro de jubileu para mim, mas um *impeachment*".[43] Era um cientista maduro o suficiente para saber que idéias novas eram difíceis de ocorrer e que ele já não produzia como na juventude. Conforme escreveria: "Tudo que é realmente novo é inventado quando se é jovem. Mais tarde, a pessoa

fica mais experiente, mais famosa e... mais burra".[44]

O que o mantinha ativo, porém, eram os sinais que via por toda parte de que a unificação era um dos grandes esquemas do universo. Ele escreveria: "A natureza mostra-nos somente a cauda do leão. Mas eu não duvido que o leão pertence a ela, embora não possa se revelar devido ao seu enorme tamanho".[45] Todo dia, ao acordar, ele se formulava uma pergunta simples: se fosse Deus, como criaria o universo? Na verdade, dadas todas as restrições necessárias para criar um universo, ele se formulava outra pergunta: Deus teve alguma escolha? Ao contemplar o universo, tudo que Ele via indicava que a unificação era o maior tema da natureza, que Deus não poderia ter criado um universo que tornasse a gravidade, a eletricidade e o magnetismo entidades distintas. O que lhe faltava, como ele sabia, era um princípio norteador, uma imagem física que iluminasse o caminho para a teoria do campo unificado. Nada surgiu.

Com a relatividade restrita, a imagem era de um jovem de dezesseis anos correndo atrás de um raio de luz. Com a relatividade geral, era de um homem reclinando-se na cadeira, prestes a cair, ou bolas de gude rolando pelo espaço curvo. No entanto, com a teoria do campo unificado, ele não tinha tal orientação. Einstein ficou famoso pela frase: "Sutil é o Senhor, mas não maligno".[46] Após lutar tantas décadas com o problema da unificação, ele admitiu ao assistente Valentine Bargman: "Estou mudando de idéia. Talvez Deus *seja* maligno".[47]

Se bem que a busca de uma teoria do campo unificado fosse conhecida como o problema mais difícil de toda a física, também era o mais glamouroso, seduzindo legiões de físicos. É interessante, por exemplo, que Wolfgang Pauli, um dos críticos mais rigorosos da teoria do campo unificado de Einstein, acabou aderindo. No final da década de 1950, tanto Heisenberg como Pauli estavam cada vez mais interessados numa versão da teoria do campo unificado que, segundo eles, resolveria os problemas que aturdiam Einstein por trinta anos. De fato, Pais escreve: "De 1954 até o final de sua vida, Heisenberg (morto em 1976) mergulhou em tentativas de derivar de uma equação de onda não-linear fundamental toda a física das partículas".[48] Em 1958, Pauli visitou a Universidade de Columbia e fez uma apresentação da versão de Heisenberg-Pauli da teoria do campo unificado. O público, desnecessário dizer, não se deixou convencer. Niels Bohr, que estava na platéia, finalmente se levantou e confessou: "Nós aqui atrás estamos convencidos de que sua teoria é louca. Mas o que nos divide é se sua teoria é louca o bastante".[49]

O físico Jeremy Bernstein, que também estava na platéia, observou: "Foi um encontro incomum de dois gigantes da física moderna. Fiquei pensando que proveito um visitante não-físico poderia tirar daquilo".[50] Pauli acabou se desiludindo com a teoria, acreditando que tinha furos demais. Quando seu colaborador insistiu em ir em frente com ela, Pauli escreveu uma carta para Heisenberg, anexando uma folha de papel em branco e afirmando que, se sua teoria era realmente a teoria do campo unificado, então aquela folha era uma obra de Ticiano.

Embora o progresso na teoria do campo unificado fosse lento e doloroso, muitos outros avanços interessantes mantinham Einstein ocupado. Um dos mais estranhos eram as máquinas do tempo.

Para Newton, o tempo era como uma seta. Uma vez desencadeado, avançava inexoravelmente em linha reta, jamais se desviando da rota. Um segundo na Terra era um

segundo no espaço. O tempo era absoluto e fluía uniformemente por todo o universo, à mesma velocidade. Eventos podiam ocorrer ao mesmo tempo através do universo. No entanto, Einstein introduziu o conceito de tempo relativo, de modo que um segundo na Terra não era um segundo na Lua. O tempo era como um rio Mississippi, que serpenteasse por planetas e estrelas, reduzindo a velocidade ao passar por corpos celestes vizinhos. A questão que o matemático Kurt Gödel agora levantava era: o rio do tempo pode ter remoinhos e voltar para trás? Ou poderia se bifurcar em dois rios, criando um universo paralelo? Einstein viu-se forçado a enfrentar esta questão em 1949, quando Gödel, vizinho de Einstein no instituto e comprovadamente o maior lógico matemático do século, mostrou que as equações de Einstein permitiam a viagem pelo tempo. Gödel começou com um universo repleto de gás e em rotação. Se alguém partisse numa nave espacial e desse a volta por todo o universo, poderia chegar à Terra antes de ter partido! Em outras palavras, a viagem pelo tempo seria um fenômeno natural no universo de Gödel, onde uma pessoa retrocederia rotineiramente no tempo durante uma viagem ao redor do universo.

Isso chocou Einstein. Até então, toda tentativa de encontrar soluções para as equações de Einstein parecia ajustar-se aos dados. O periélio de Mercúrio, o desvio para o vermelho, o arqueamento da luz estelar, a gravidade de uma estrela etc. — tudo isso se ajustava perfeitamente aos dados experimentais. Agora suas equações estavam dando soluções que desafiavam todas as nossas crenças sobre o tempo. Se as viagens pelo tempo fossem rotineiramente possíveis, a história jamais poderia ser escrita. O passado, como areias cambiantes, poderia ser alterado sempre que alguém entrasse em sua máquina do tempo. O pior era que alguém poderia destruir o próprio universo criando um paradoxo do tempo. E se você recuasse no tempo e fuzilasse seus pais antes de ter nascido? Isso era problemático, pois como você poderia ter nascido se matou seus pais?

As máquinas do tempo violavam a causalidade, um princípio consagrado da física. Einstein não estava satisfeito com a teoria quântica, porque substituía a causalidade por probabilidades. Agora Gödel estava eliminando a causalidade por completo! Após muita reflexão, Einstein enfim descartou a solução de Gödel, observando que ela não se ajustava aos dados da observação: o universo estava se expandindo, e não girando, de modo que a viagem pelo tempo, pelo menos por enquanto, poderia ser descartada. Mas isso deixou aberta a possibilidade de que, se o universo girasse em vez de se expandir, as viagens pelo tempo seriam rotineiras. No entanto, mais cinco décadas decorreriam até que o conceito da viagem pelo tempo fosse revivido num campo de investigação importante.

A década de 1940 também foi um período turbulento na cosmologia. George Gamow, que foi o contato de Einstein com a Marinha norte-americana durante a guerra, estava menos interessado em projetar explosivos do que em fazer perguntas sobre a maior de todas as explosões: o Big-Bang. Gamow formularia várias perguntas que virariam a cosmologia de ponta-cabeça. Ele levou a teoria do Big-Bang à conclusão lógica. Sabiamente especulou que se o universo de fato nasceu de uma explosão violenta, seria possível detectar o calor remanescente da bola de fogo inicial. Deveria existir um "eco da criação" do próprio Big-Bang. Usou o trabalho de Boltzmann e Planck, que mostraram que a cor de um objeto quente deveria

corresponder à sua temperatura, já que ambas são formas diferentes de energia. Por exemplo, se um objeto quente for vermelho, segue-se que sua temperatura é de aproximadamente 3 mil graus centígrados. Se um objeto quente for amarelo (como o nosso Sol), ele tem cerca de 6 mil graus centígrados (que é a temperatura da superfície do nosso Sol). De forma semelhante, os nossos próprios corpos são quentes, de modo que podemos calcular a sua "cor", que corresponde à radiação infravermelha. (Os óculos de visão noturna do exército são eficazes porque detectam a radiação infravermelha emitida por nossos corpos quentes.) Argumentando que o Big-Bang ocorreu bilhões de anos atrás, dois membros do grupo de Gamow, Robert Herman e Ralph Alpher, calcularam já em 1948 que a fosforescência do Big-Bang deveria ser de cinco graus acima do zero absoluto, o que está incrivelmente próximo do valor correto. Esta radiação corresponde à radiação em microondas. Por conseguinte, a "cor da criação" é uma radiação em microondas. (Esta radiação em microondas, que acabou sendo encontrada décadas depois e que se descobriu corresponder a 2,7 graus acima de zero absoluto, revolucionaria por completo o campo da cosmologia.)

Conquanto relativamente isolado em Princeton, Einstein viveu a ponto de ver sua teoria da relatividade geral abrir novos e ricos caminhos de pesquisa em cosmologia, buracos negros, ondas gravitacionais e outras áreas. Entretanto, os últimos anos de sua vida também foram repletos de tristezas. Em 1948, ele recebeu a notícia de que Mileva, após uma vida longa e dura cuidando do filho mentalmente doente, havia falecido, ao que tudo indica em razão de um derrame durante um acesso de Eduard. (Mais tarde, 85 mil francos em dinheiro vivo foram encontrados escondidos no colchão, aparentemente o último dinheiro que restava de seus apartamentos em Zurique. Ele foi usado para ajudar a pagar o tratamento prolongado de Eduard.) Em 1951, sua irmã querida, Maja, morreu.

Em 1952, Chaim Weizmann, o homem que organizara a viagem triunfal de Einstein aos Estados Unidos em 1921, faleceu após ser presidente de Israel. Inesperadamente, o primeiro-ministro de Israel, David Ben-Gurion, ofereceu a Einstein a presidência do país. Embora fosse uma grande honra, ele teve de recusar o convite.

Em 1955, Einstein recebeu a notícia de que Michele Besso, que o ajudara a aperfeiçoar suas idéias sobre a relatividade restrita, havia morrido. Em carta ao filho de Besso, Einstein escreveu de forma comovente:

> O que eu mais admirava em Michele era a capacidade de viver tantos anos com uma só mulher, não apenas em paz mas também em constante união, algo em que lamentavelmente falhei duas vezes. [...] Desse modo, ao deixar este mundo estranho, ele de novo me precedeu um pouco. Isso não significa nada. Para quem acredita em física, esta separação entre passado, presente e futuro é pura ilusão, embora obstinada.[51]

Naquele ano, com a saúde abalada, ele disse: "Não tem graça prolongar a vida artificialmente. Fiz minha parte; está na hora de ir. Vou fazê-lo com elegância".[52] Einstein morreria em 18 de abril de 1955, de um aneurisma súbito. Após sua morte, o cartunista Herblock publicou no *Washington Post* um cartum comovente mostrando a Terra, vista do espaço, com um enorme cartaz dizendo: "Albert Einstein viveu aqui". Naquela noite, os jornais no mundo inteiro

transmitiram pelo telégrafo uma fotografia da escrivaninha de Einstein. Sobre ela estava o manuscrito de sua maior teoria inacabada: a teoria do campo unificado.



CAPÍTULO 9
O LEGADO PROFÉTICO DE EINSTEIN

A maioria dos biógrafos ignora sistematicamente os últimos trinta anos da vida de Einstein, considerando-os quase um constrangimento, indignos de um gênio, uma nódoa numa história até então impecável. Contudo, o desenvolvimento científico nas últimas décadas forneceu uma visão totalmente nova do legado de Einstein. Como seu trabalho foi tão fundamental, reformulando as próprias bases do conhecimento humano, seu impacto continua reverberando pela física. Muitas das sementes plantadas por Einstein estão agora germinando no século XXI, principalmente porque nossos instrumentos, tais como telescópios espaciais, observatórios espaciais de raios X e lasers são agora poderosos e sensíveis o bastante para verificar uma diversidade de previsões suas de décadas atrás.

Na verdade, migalhas caídas do prato de Einstein estão agora trazendo prêmios Nobel para outros cientistas. Além disso, com o advento da teoria das supercordas, o conceito de Einstein da unificação de todas as forças, antes objeto de zombaria e comentários depreciativos, vem agora conquistando o lugar central no mundo da física teórica. Este capítulo discute novos progressos em três áreas onde o legado permanente de Einstein continua dominando o mundo da física: a teoria quântica, a relatividade geral e a cosmologia e a teoria do campo unificado.

Ao escrever seu primeiro artigo sobre a condensação de Bose-Einstein, em 1924, Einstein não acreditou que seu fenômeno curioso pudesse ser descoberto num futuro próximo. Seria preciso resfriar os materiais até quase zero absoluto para que todos os estados quânticos pudessem colapsar num superátomo gigante.

Em 1995, Eric A. Cornell, do National Institute of Standards and Technology, e Carl E. Weiman, da Universidade de Colorado, fizeram exatamente isto, produzindo um condensado de Bose-Einstein puro a partir de 2 mil átomos de rubídio, a vinte bilionésimos de grau acima de zero absoluto. Além disso, Wolfgang Ketterle, do MIT, produziu, de forma independente, condensados de Bose-Einstein com átomos de sódio suficientes para realizar experimentos importantes, tais como provar que aqueles átomos exibiam padrões de interferência compatíveis com átomos que estavam coordenados entre si. Em outras palavras, eles agiram como o superátomo previsto por Einstein mais de setenta anos antes.

Desde o anúncio inicial, as descobertas neste campo dinâmico se têm sucedido. Em 1997, Ketterle e colegas do MIT criaram o primeiro "laser de átomos" do mundo usando condensados de Bose-Einstein. O que dá à luz de laser suas propriedades maravilhosas é o fato de que os fótons marcham de forma sincronizada e em fileira cerrada, enquanto a luz comum é caótica e

incoerente. Como a matéria também tem propriedades ondulatórias, os físicos especularam que seria possível fazer com que feixes de átomos se comportassem como lasers, mas a falta de condensados de Bose-Einstein retardou o progresso nessa direção. Esses físicos realizaram seu feito primeiro resfriando um conjunto de átomos até se condensarem. Depois atingiram o condensado com um raio laser, que transformou os átomos num raio sincronizado.

Em 2001, Cornell, Weiman e Ketterle receberam o prêmio Nobel de Física. A comissão do prêmio Nobel os laureou "pela obtenção da condensação de Bose-Einstein em gases diluídos de átomos alcalinos e por estudos fundamentais pioneiros das propriedades dos condensados". As aplicações práticas dos condensados de Bose-Einstein começam a ser percebidas. Esses raios de lasers atômicos poderiam se mostrar valiosos no futuro aplicados à nanotecnologia. Podem permitir a manipulação de átomos individuais e a criação de camadas de filmes atômicos para semicondutores em computadores do futuro.

Além dos lasers atômicos, alguns físicos têm especulado que os computadores quânticos (que computam em átomos individuais) poderiam se basear em condensados de Bose-Einstein, que acabariam por substituir os computadores à base de silício. Outros especularam que a matéria escura poderia, em parte, ser composta de condensados de Bose-Einstein. Assim, esse estado obscuro da matéria talvez constituísse a maior parte do universo.

As contribuições de Einstein também forçaram os físicos quânticos a repensarem sua devoção à interpretação original da teoria de Copenhague. Nas décadas de 1930 e 1940, quando os físicos quânticos estavam zombando de Einstein pelas costas, era fácil ignorar esse gigante da física, já que tantas descobertas em física quântica vinham sendo realizadas quase diariamente. Quem tinha tempo de refletir sobre os fundamentos da teoria quântica quando os físicos estavam lutando para colecionar prêmios Nobel como maçãs colhidas de uma árvore? Centenas de cálculos sobre as propriedades dos metais, semicondutores, líquidos, cristais e outros materiais podiam agora ser realizados, cada um deles capaz de criar indústrias inteiras. Não havia tempo a perder. Como conseqüência, durante décadas os físicos simplesmente se acostumaram à escola de Copenhague, varrendo as questões filosóficas mais profundas e não respondidas para baixo do tapete. Os debates entre Bohr e Einstein foram esquecidos. Entretanto, agora que muitas das questões "fáceis" sobre a matéria foram esclarecidas, aquelas muito mais difíceis levantadas por Einstein continuam sem resposta. Em particular, dezenas de conferências internacionais vêm se realizando mundo afora, à medida que os físicos reexaminam o problema do gato mencionado no capítulo 7. Agora que os experimentalistas podem manipular átomos individuais; o problema do gato deixou de ser uma questão acadêmica. De fato, o destino final da tecnologia de computadores, que representa uma grande fração da riqueza do mundo, pode depender desta resolução, já que os computadores do futuro poderão usar transistores feitos de átomos individuais.

Dentre todas as alternativas, reconhece-se agora que a escola de Copenhague de Bohr oferece a resposta menos atraente ao problema do gato, embora não tenha havido nenhum desvio experimental quanto à interpretação original de Bohr. A escola de Copenhague postula que existe um "muro" que separa o mundo macroscópico do senso comum, das árvores, montanhas e pessoas que vemos à nossa volta, do mundo misterioso, não-consensual e

microscópico do *quantum* e das ondas. No mundo microscópico, há partículas subatômicas em um estado intermediário entre a existência e a inexistência. Entretanto, vivemos do outro lado do muro, onde todas as funções de onda colapsaram, de modo que nosso universo macroscópico parece nítido e bem definido. Em outras palavras, existe um muro separando o observador do observado.

Alguns físicos, inclusive o vencedor do prêmio Nobel Eugene Wigner, foram ainda mais longe. O elemento-chave da observação, ele enfatizou, é a consciência. É preciso um observador consciente para fazer uma observação e estabelecer a realidade do gato. Mas quem observa o observador? O observador precisa também ter outro observador (chamado de "amigo de Wigner") para estabelecer que o observador está vivo. Mas isso implica uma cadeia infinita de observadores, cada um observando o outro, cada um estabelecendo que o observador anterior está vivo e bem. Para Wigner, isso significava que talvez houvesse uma consciência cósmica que estabelecia a natureza do próprio universo! Em suas palavras: "O próprio estudo do mundo externo levou à conclusão de que o conteúdo da consciência é a realidade suprema".[1] Alguns argumentaram, portanto, que isso prova a existência de Deus, alguma espécie de consciência cósmica, ou que o próprio universo seria de algum modo consciente. Como disse certa vez Planck: "A ciência não pode solucionar o mistério fundamental da Natureza. E isto porque, em última análise, nós próprios fazemos parte do mistério que estamos tentando solucionar".[2]

Ao longo das décadas, outras interpretações foram propostas. Em 1957, Hugh Everett, então aluno de pós-graduação do físico John Wheeler, propôs talvez a solução mais radical do problema do gato: a teoria dos "vários mundos", afirmando que todos os universos possíveis existem simultaneamente. O gato poderia na verdade estar morto e vivo ao mesmo tempo, porque o próprio universo se dividiu em dois universos. As implicações desta idéia são bem perturbadoras, porque significam que o universo está constantemente se bifurcando a cada instante quântico, abrindo-se em números infinitos de universos quânticos. O próprio Wheeler, de início entusiasmado com a abordagem de seu aluno, mais tarde a abandonou, afirmando que ela carregava uma "bagagem metafísica" por demais pesada. Por exemplo, imagine um raio cósmico que penetre no útero da mãe de Winston Churchill, provocando um aborto. Desse modo, um evento quântico nos separa de um universo no qual Churchill jamais viveu para convocar o povo da Inglaterra e o mundo contra as forças assassinas de Adolf Hitler. Naquele universo paralelo, talvez os nazistas vencessem a Segunda Guerra Mundial e escravizassem grande parte do mundo. Ou imagine um mundo onde um vento solar, desencadeado por eventos quânticos, desviou um cometa ou meteoro de sua trajetória 65 milhões de anos atrás, fazendo com que nunca atingisse a península de Yucatán no México e jamais exterminasse os dinossauros. Nesse universo paralelo, os seres humanos jamais surgiram, e Manhattan, onde moro atualmente, é habitada por dinossauros selvagens.

A mente fica a mil ao contemplar todos os universos possíveis. Após décadas de discussões fúteis sobre diferentes interpretações da teoria quântica, em 1965, John Bell, um físico nuclear do Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (Cern) em Genebra, Suíça, analisou um experimento que provaria ou refutaria decisivamente a crítica de Einstein à teoria quântica.

Aquela seria a prova de fogo.[3] Ele simpatizava com as questões filosóficas profundas levantadas por Einstein décadas antes e propôs um teorema que enfim resolveria a questão. (O teorema de Bell baseia-se no reexame de uma variação do antigo experimento EPR e na análise da correlação entre as duas partículas movendo-se em direções opostas.) O primeiro experimento confiável foi realizado em 1983 por Alain Aspect, na Universidade de Paris, e os resultados confirmaram o ponto de vista da mecânica quântica. Einstein estava errado em sua crítica à teoria quântica.

Mas se a crítica de Einstein à teoria quântica poderia agora ser descartada, qual das diferentes escolas de mecânica quântica está correta? A maioria dos físicos atuais acredita que a escola de Copenhague é terrivelmente incompleta. O muro de Bohr separando o mundo microscópico do mundo macroscópico já não parece válido no mundo de hoje, quando podemos manipular átomos individuais. "Microscópios de tunelamento" conseguem desalojar átomos individuais e têm sido usados para tornar obsoletos os computadores de grande porte e criar um "ábaco funcional" constituído de átomos. Além disso, todo um novo campo de tecnologia, denominado nanotecnologia, foi criado com base na manipulação de átomos. Experimentos como o do gato de Schrödinger podem agora ser realizados com átomos individuais.

Apesar disso, ainda não existe uma solução para o problema do gato que seja satisfatória para todos os físicos. Entretanto, quase oitenta anos depois de Bohr e Einstein entrarem em choque na Conferência de Solvay, alguns físicos proeminentes, incluindo vários vencedores do prêmio Nobel, convergiram para a idéia da "descoerência" a fim de resolver o problema do gato. A descoerência parte do fato de que a função de onda de um gato é complicada porque contém algo da ordem de 1025 átomos, um número realmente astronômico. Daí a interferência entre a onda do gato vivo e a onda do gato morto ser tão intensa. Isto significa que as duas funções de onda podem existir de modo simultâneo no mesmo espaço, mas não podem se influenciar mutuamente. As duas funções de onda tornaram-se mutuamente descoerentes e já não detectam a presença uma da outra. Em outra versão da descoerência, funções de onda nunca "colapsam", como alegava Bohr. Elas simplesmente se separam e, para todos os propósitos, jamais voltam a interagir.

O vencedor do prêmio Nobel Steven Weinberg compara isso a ouvir rádio. Girando o dial, podemos sintonizar diversas estações de rádio em seqüência. Cada freqüência se tornou descoerente em relação às outras, de modo que não há interferência entre as estações. Nosso aposento está simultaneamente preenchido com sinais de todas as estações de rádio, cada uma fornecendo um mundo inteiro de informações, mas elas não interagem entre si. E nosso rádio sintoniza uma estação de cada vez.

A descoerência soa atraente, já que permite usar a teoria ondulatória comum para resolver o problema do gato sem recorrer ao "colapso" da função de onda. Neste quadro, as ondas nunca colapsam. Entretanto, as conclusões lógicas são perturbadoras. Na análise final, a descoerência implica uma interpretação de "vários mundos". Mas, em vez de estações de rádio que não interferem, agora temos universos inteiros que não interagem. Isto pode parecer estranho, pois significa que, no mesmo aposento onde você está lendo este livro, existe a função de onda de mundos paralelos onde os nazistas venceram a Segunda Guerra Mundial, onde as pessoas

falam línguas estranhas, onde os dinossauros lutam na sua sala de estar, onde criaturas alienígenas caminham sobre a Terra ou onde a Terra simplesmente nunca existiu. O nosso "rádio" está sintonizado apenas no mundo familiar onde vivemos, mas dentro deste aposento existem outras "estações de rádio" onde mundos malucos, estranhos, coexistem com o nosso. Não podemos interagir com esses dinossauros, monstros e alienígenas que caminham em nossas salas de estar porque vivemos em uma freqüência de "rádio" diferente e há uma descoerência entre nós e eles. Como disse o vencedor do prêmio Nobel Richard Feynman: "Acho que posso dizer com segurança que ninguém entende a mecânica quântica".[4]

Enquanto a crítica de Einstein à teoria quântica ajudou a aguçar seu desenvolvimento, embora não tenha produzido uma solução totalmente satisfatória dos seus paradoxos, suas idéias foram confirmadas em outra parte, mais espetacularmente na relatividade geral. Numa era de relógios atômicos, lasers e supercomputadores, os cientistas estão armando o tipo de testes de alta precisão da relatividade geral com que Einstein só podia sonhar. Em 1959, por exemplo, Robert V. Pound e G. A. Rebka, de Harvard, finalmente confirmaram a previsão de Einstein do desvio gravitacional para o vermelho, ou seja, que os relógios avançam em velocidades diferentes em um campo gravitacional. Eles pegaram cobalto radioativo e emitiram uma radiação do térreo do Laboratório Lyman, em Harvard, até o teto, 22,6 metros acima. Usando um dispositivo de medição de alta precisão (que usava o efeito de Mossbauer), mostraram que os fótons perderam energia (portanto tiveram a freqüência reduzida) ao fazerem o percurso até o teto do laboratório. Em 1977, o astrônomo Jesse Greenstein e colegas analisaram o avanço do tempo em uma dúzia de estrelas anãs brancas. Como esperado, confirmaram que o tempo se retardava em um campo gravitacional grande.

O experimento do eclipse solar também foi repetido com extrema precisão em várias ocasiões. Em 1970, os astrônomos localizaram dois quasares muito distantes, 3C 279 e 3C 273. A luz desses quasares curvou-se, como previsto na teoria de Einstein.

A introdução de relógios atômicos também revolucionou a forma como testes de precisão podem ser realizados. Em 1971, relógios atômicos foram colocados em aviões a jato, que viajaram de leste para oeste e de oeste para leste. Esses relógios atômicos, por sua vez, foram depois comparados com relógios atômicos que estavam imóveis no Observatório Naval, em Washington, D.C. Analisando os relógios atômicos em jatos que viajavam a velocidades diferentes (mas a uma altitude constante), os cientistas puderam confirmar a relatividade restrita. Depois, analisando jatos que viajavam à mesma velocidade, mas em altitudes diferentes, puderam testar a precisão de relatividade geral. Em ambas as ocasiões, os resultados confirmaram as previsões de Einstein, dentro da margem de erro experimental.

O lançamento de satélites espaciais também revolucionou a forma como a relatividade geral pode ser testada. O satélite Hipparcos, lançado pela Agência Espacial Européia em 1989, passou quatro anos calculando a deflexão da luz estelar pelo Sol, chegando a analisar estrelas 1500 vezes mais fracas do que aquelas da Ursa Maior. No espaço, não é preciso esperar um eclipse, e os experimentos podem ser conduzidos o tempo todo. Infalivelmente, constataram que a luz estelar se curvava de acordo com a previsão de Einstein. Na verdade, constataram que a luz estelar a meio caminho do limite do universo era curvada pelo Sol.

No século XXI, uma variedade de outros experimentos de precisão está planejada para testar a exatidão da relatividade geral, inclusive novos experimentos com estrelas duplas e até com sinais de laser ricocheteando na Lua. Mas os testes de precisão mais interessantes talvez venham de ondas gravitacionais. Einstein previu as ondas gravitacionais em 1916. No entanto, perdeu a esperança de ver a confirmação desses fenômenos esquivos ainda durante a sua vida. O equipamento experimental do início do século XX era primitivo demais. Mas, em 1993, o prêmio Nobel foi concedido a dois físicos, Russell Hulse e Joseph Taylor, por confirmarem indiretamente a existência de ondas gravitacionais, ao examinarem estrelas duplas girando uma em volta da outra.

Eles examinaram PSR 1913+16, uma estrela de nêutrons dupla a uns 16 mil anos-luz da Terra, em que duas estrelas mortas orbitam uma em volta da outra a cada sete horas e 45 minutos, liberando quantidades abundantes de ondas gravitacionais na sua esteira. Imagine, por exemplo, mexer um pote de melado com duas colheres, uma rodando em torno da outra. À medida que cada colher se desloca no melado, deixa uma trilha de melado na sua esteira. De forma semelhante, se substituímos o melado pela tessitura do espaço-tempo e as colheres por estrelas mortas, encontramos duas estrelas perseguindo uma à outra no espaço, emitindo ondas gravitacionais. Como essas ondas conduzem energia, as duas estrelas acabam perdendo energia e aos poucos se espiralam mutuamente. Analisando os sinais desse sistema de estrela dupla, pode-se calcular de forma experimental o decaimento preciso da órbita da estrela dupla. Conforme esperado da teoria da relatividade geral de Einstein, as duas estrelas se aproximam um milímetro a cada revolução. Em um ano, a separação das estrelas diminui 91,4 centímetros em uma órbita cujo diâmetro é de 700350 quilômetros, exatamente o número que pode ser calculado das equações de Einstein. De fato, as duas estrelas colapsarão totalmente daqui a 240 milhões de anos devido à perda de ondas gravitacionais. Este experimento de precisão pode ser reinterpretado como uma forma de testar a exatidão da relatividade geral de Einstein. Os números são tão precisos que podemos concluir que a relatividade geral possui uma precisão de 99,7% (dentro da margem de erro experimental).

Mais recentemente, tem crescido o interesse em uma série de experimentos de largo alcance para observar ondas gravitacionais diretamente. O projeto Ligo (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory [Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferometria a Laser]) poderá brevemente ser o primeiro a observar ondas gravitacionais, talvez de buracos negros colidindo no espaço. O Ligo é a realização dos sonhos de qualquer físico, o primeiro aparato poderoso o suficiente para medir ondas gravitacionais. O Ligo consiste em três instalações de laser nos Estados Unidos (duas em Hanford, Washington, e uma em Livingston, Louisiana). Trata-se, na verdade, de uma parte de um consórcio internacional, incluindo o detector franco-italiano chamado Virgo, em Pisa, Itália, um detector japonês chamado Tama, na periferia de Tóquio, e um detector anglo-alemão chamado GEO600 em Hanover, Alemanha. No todo, a construção do Ligo custará 292 milhões de dólares (mais 80 milhões de dólares na preparação e atualizações), fazendo dele o projeto mais dispendioso já financiado pela National Science Foundation.

Os detectores a laser do Ligo assemelham-se ao dispositivo usado por Michelson e Morley na

virada do século para detectar o vento de éter, só que, em vez de raios de luz, são usados raios laser. Um raio laser é dividido em dois raios separados que se movem perpendicularmente um ao outro. Após atingir um espelho, esses dois raios são novamente unidos. Se uma onda de gravidade atingisse o interferômetro, haveria um distúrbio nos comprimentos das trajetórias dos raios laser, que poderia ser visto como um padrão de interferência entre os dois raios. Para assegurar que o sinal que atinge o aparato a laser não é espúrio, detectores a laser precisam estar distribuídos ao redor do planeta Terra. Somente uma onda de gravidade enorme, bem maior que a Terra, seria capaz de acionar todos os detectores.

Com o tempo, uma série desses detectores a laser será instalada no espaço pela Nasa e pela Agência Espacial Européia. Em torno de 2010, a Nasa lançará três satélites, chamados Lisa (Laser Interferometry Space Antenna [Antena Espacial da Interferometria a Laser]). Eles orbitarão ao redor do Sol mais ou menos na mesma distância da órbita da Terra. Os três detectores a laser formarão um triângulo eqüilátero no espaço (cerca de 4,8 milhões de quilômetros de lado). O sistema, de tão delicado, será capaz de detectar vibrações de uma parte em 1 bilhão de trilhões (correspondendo a um deslocamento com um centésimo da largura de um átomo individual), permitindo aos cientistas detectarem as ondas de choque originais do próprio Big-Bang. Se tudo correr bem, a Lisa conseguirá perscrutar o primeiro trilionésimo de segundo após o Big-Bang, tornando-o talvez a mais poderosa de todas as ferramentas cosmológicas para explorar a criação. Isto é essencial, porque se acredita que a Lisa seja capaz de encontrar os primeiros dados experimentais sobre a natureza precisa da teoria do campo unificado, a teoria de tudo.

Ainda outra ferramenta importante introduzida por Einstein foram as lentes gravitacionais. Já em 1936, ele provou que galáxias próximas podem agir como lentes gigantes que focalizam a luz de objetos distantes. Muitas décadas decorreriam até que essas lentes de Einstein fossem observadas. O primeiro avanço veio em 1979, quando astrônomos observavam o quasar Q0957+561 e descobriram que o espaço estava sendo arqueado e agindo como uma lente para concentrar luz.

Em 1988, a primeira observação de um anel de Einstein foi da fonte de rádio MG1131+0456, e cerca de vinte, na maior parte fragmentos de anéis, foram observados desde então. Em 1997, os primeiros anéis de Einstein totalmente circulares foram observados com o Telescópio Espacial Hubble e o conjunto de radiotelescópios Merlin britânico (Multi-Element Radio Linked Interferometer Network [Rede de Interferômetros Multielementos Ligada por Rádio]). Analisando a galáxia distante 1938+666, eles encontraram o anel característico que circundava a galáxia. "À primeira vista, aquilo parecia artificial e achamos que fosse alguma espécie de defeito na imagem, mas depois percebemos que estávamos olhando um perfeito anel de Einstein!", disse o dr. Ian Brown, da Universidade de Manchester.[5] Os astrônomos britânicos ficaram eufóricos com a descoberta, declarando: "Acertamos na mosca!".[6] O anel é minúsculo. Tem apenas um segundo de arco, ou aproximadamente o tamanho de uma moeda vista à distância de três quilômetros. Entretanto, é uma verificação da previsão feita por Einstein décadas antes.

Uma das maiores explosões na relatividade geral tem ocorrido na área da cosmologia. Em

1965, dois físicos, Robert Wilson e Arno Penzias, detectaram a tênue radiação em microondas do espaço com seu radiotelescópio do Laboratório Bell, em Nova Jersey. Os dois físicos, que desconheciam o trabalho pioneiro de Gamow e seus alunos, acidentalmente captaram essa radiação cósmica do Big-Bang sem que se apercebessem. (Conta-se que pensavam estar captando a interferência das fezes das aves que sujavam seu radiotelescópio. Mais tarde, o físico de Princeton R. H. Dicke identificou corretamente essa radiação como a radiação de fundo em microondas de Gamow.) Penzias e Wilson receberam o prêmio Nobel pelo trabalho pioneiro. Desde então, o satélite Cobe (Cosmic Background Explorer), lançado em 1989, vem fornecendo o quadro mais detalhado dessa radiação de fundo em microondas, que é bastante uniforme. Quando os físicos, encabeçados por George Smoot, da Universidade da Califórnia, em Berkeley, analisaram com cuidado todas as ondulações ligeiras nesse fundo uniforme, produziram uma fotografia notável da radiação de fundo quando o universo tinha apenas 400 mil anos. A mídia equivocadamente chamou essa foto de "face de Deus". (Essa foto não é a face de Deus, mas uma "foto de bebê" do Big-Bang.)

O interessante na foto é que as ondulações provavelmente correspondem a flutuações quânticas minúsculas no Big-Bang. De acordo com o princípio da incerteza, o Big-Bang não poderia ter sido uma explosão perfeitamente uniforme, já que efeitos quânticos devem ter produzido ondulações de certo tamanho. Foi isto precisamente o que o grupo de Berkeley encontrou. (Na verdade, se não tivesse encontrado essas ondulações, o princípio da incerteza teria sofrido um forte revés.) Essas ondulações, além de mostrarem que o princípio da incerteza se aplicou ao nascimento do universo, também deu aos cientistas um mecanismo plausível para a criação de nosso "universo irregular". Quando olhamos à nossa volta, vemos que as galáxias se encontram em aglomerados, dando ao universo uma textura acidentada. Essa irregularidade pode ser facilmente explicada como as ondulações do Big-Bang original, que se estenderam com a expansão do universo. Desse modo, quando vemos os aglomerados de galáxias no céu, podemos estar perscrutando as ondulações originais do Big-Bang deixadas pelo princípio da incerteza.

Mas a redescoberta mais espetacular do trabalho de Einstein talvez venha em forma de "energia escura". Como já vimos, ele introduziu o conceito de constante cosmológica (ou a energia do vácuo) em 1917 para impedir que o universo se expandisse. (Lembremos que só existem dois termos possíveis permitidos pela co-variância geral, a curvatura de Ricci e o volume do espaço-tempo, de modo que o termo da constante cosmológica não pode ser facilmente descartado.) Ele mais tarde considerou a constante cosmológica o seu maior erro, quando Edwin Hubble mostrou que o universo está de fato se expandindo. Resultados obtidos em 2000, porém, revelam que Einstein estava provavelmente certo: a constante cosmológica não apenas existe, mas a energia escura talvez constitua a maior fonte de matéria/energia do universo inteiro. Analisando supernovas em galáxias distantes, os astrônomos conseguiram calcular a taxa de expansão do universo durante bilhões de anos. Para sua surpresa, descobriram que a expansão do universo, em vez de diminuir, como se pensava, está realmente se acelerando. Nosso universo está em modo acelerado e se expandirá para sempre. Assim, podemos agora prever como nosso universo morrerá.

Anteriormente, alguns cosmólogos acreditavam que o universo poderia conter matéria suficiente para reverter a expansão cósmica. Desse modo, o universo poderia acabar se contraindo, e um desvio para o azul seria visto no espaço. (O físico Stephen Hawking chegou a acreditar que o tempo poderia se reverter, à medida que o universo se contraísse, e a história poderia se repetir de trás para a frente. Isto significaria que as pessoas rejuvenesceriam e acabariam pulando para dentro do útero das mães, que as pessoas saltariam de dentro de uma piscina e chegariam secas no trampolim e que ovos na frigideira voltariam para dentro de suas cascas intactas. Mais tarde, Hawking admitiu que se equivocara.) No final, o universo implodiria sobre si mesmo, criando o calor enorme de um "Big-Crunch" [Grande Contração]. Outros chegaram a especular que o universo poderá então sofrer outro Big-Bang, resultando assim em um universo oscilante.

Todavia, tudo isso agora foi rejeitado com o resultado experimental de que a expansão do universo está se acelerando. A explicação mais simples que parece se ajustar aos dados é presumir que uma quantidade enorme de energia escura permeia o universo. Essa energia escura agiria como uma antigravidade, afastando as galáxias umas das outras. Quanto maior se torna o universo, mais energia do vácuo existe, que por sua vez afasta ainda mais as galáxias, criando um universo em aceleração.

Isso parece confirmar uma versão da idéia do "universo inflacionário", proposta inicialmente pelo físico do MIT Alan Guth, que é uma modificação da teoria do Big-Bang original de Friedmann e Lemaître. De modo esquemático, no modelo inflacionário, a expansão tem duas fases. A primeira é uma expansão rápida, exponencial, quando o universo era dominado por uma constante cosmológica grande. Com o tempo, essa inflação exponencial termina, e a expansão se retarda para parecer com o universo em expansão convencional achado por Friedmann e Lemaître. Se correto, isso significa que o universo visível à nossa volta é apenas um ponto insignificante de um espaço-tempo bem maior que representa o universo verdadeiro. Experimentos recentes com balões a grandes altitudes na atmosfera também forneceram sinais convincentes de inflação, mostrando que o universo parece aproximadamente plano, o que indica como de fato é grande. Somos como formigas sobre um balão enorme, achando que nosso universo é plano apenas porque somos pequenos demais.

A energia escura também nos força a reavaliar nosso papel e posição verdadeiros no universo. Foi Copérnico quem mostrou que nada havia de especial na posição dos seres humanos no sistema solar. A existência de matéria escura mostra que não há nada de especial nos átomos que compõem o nosso mundo, já que 90% da matéria do universo é constituída de matéria escura misteriosa. Ora, o resultado da constante cosmológica indica que a energia escura excede a matéria escura, que por sua vez excede a energia das estrelas e galáxias. A constante cosmológica, introduzida relutantemente por Einstein para estabilizar o universo, é, ao que tudo indica, de longe a maior fonte de energia do universo. (Em 2003, o satélite WMAP confirmou que 4% da matéria e energia do universo se encontra em átomos comuns, 23% em alguma forma de matéria escura desconhecida e 73%, em energia escura.)

Outra previsão estranha da relatividade geral é o buraco negro, considerado ficção científica quando Schwarzschild reintroduziu o conceito de estrelas escuras já em 1916. Entretanto, o

Telescópio Espacial Hubble e o Radiotelescópio VLA até agora confirmaram a existência de mais de cinqüenta buracos negros, na maior parte espreitando no centro de galáxias grandes. De fato, muitos astrônomos agora acreditam que talvez metade dos trilhões de galáxias no firmamento tenham buracos negros no centro.

Einstein percebeu o problema de identificar essas criaturas exóticas: por definição, elas são invisíveis, já que a própria luz não consegue escapar, sendo portanto de visibilidade extremamente difícil na natureza. O Telescópio Espacial Hubble, ao perscrutar o centro de quasares e galáxias distantes, conseguiu tirar fotografias espetaculares do disco giratório que circunda os buracos negros localizados no centro de galáxias distantes, como M-87 e NGC-4258. Na verdade, parte dessa matéria que gira em torno do buraco negro atinge a velocidade de cerca de 1,6 milhão de quilômetros por hora. As fotografias mais detalhadas do Hubble mostram que existe um ponto bem no centro do buraco negro, com cerca de um ano-luz de diâmetro, bastante poderoso para girar uma galáxia inteira com cerca de 100 mil anos-luz de diâmetro. Após anos de especulação, descobriu-se enfim em 2002 que um buraco negro espreita em nosso próprio quintal: a galáxia Via Láctea, que pesa tanto quanto cerca de 2 milhões de sóis. Desse modo, nossa Lua gira ao redor de Terra, a Terra gira ao redor do Sol e o Sol gira ao redor de um buraco negro.

De acordo com o trabalho de Mitchell e Laplace no século XVIII, a massa de uma estrela escura ou buraco negro é proporcional ao seu raio. Desse modo, o buraco negro no centro de nossa galáxia tem aproximadamente um décimo do raio da órbita de Mercúrio. É espantoso que um objeto tão pequeno consiga afetar a dinâmica da galáxia inteira. Em 2001, astrônomos que usavam o efeito de lente de Einstein anunciaram a descoberta de um buraco negro itinerante dentro da galáxia Via Láctea. Em seu movimento, o buraco negro distorcia a luz estelar circundante. Rastreando o movimento dessa distorção da luz, os astrônomos puderam calcular sua trajetória pelo firmamento. (Qualquer buraco negro itinerante que se aproximasse da Terra teria conseqüências catastróficas. Ele engoliria todo o sistema solar e nem sequer arrotaria.)

Em 1963, as pesquisas de buracos negros ganharam novo ímpeto quando o matemático neozelandês Roy Kerr generalizou o buraco negro de Schwarzschild para incluir buracos negros giratórios. Como tudo no universo parece estar girando, e como os objetos giram mais rápido quando colapsam, seria natural supor que qualquer buraco negro realista giraria a uma velocidade fantástica. Para surpresa de todos, Kerr encontrou uma solução exata das equações de Einstein em que uma estrela colapsava, formando um anel giratório. A gravidade tentaria colapsar o anel, mas efeitos centrífugos poderiam se tornar fortes a ponto de neutralizar a gravidade, e o anel giratório seria estável. O que mais intrigou os relativistas foi que, se alguém caísse dentro do anel, não seria morto por esmagamento. A gravidade era de fato grande, mas finita no centro, de modo que em princípio você poderia cair pelo anel direto para dentro de outro universo. Uma viagem pela ponte de Einstein-Rosen não seria necessariamente letal. Se o anel fosse grande o suficiente, seria possível adentrar com segurança um universo paralelo.

Os físicos logo começaram a analisar o que poderia acontecer se alguém caísse num buraco negro de Kerr. Um encontro com tal buraco negro seria, sem dúvida, uma experiência

inesquecível. Em princípio, ele poderia fornecer um atalho para as estrelas, transportando-nos instantaneamente para outra parte da galáxia, ou talvez outro universo diferente por completo. Ao se aproximar do buraco negro de Kerr, você passaria pelo horizonte de eventos e nunca mais conseguiria retornar ao ponto de partida (a não ser que houvesse outro buraco negro de Kerr que ligasse o universo paralelo de volta ao nosso universo, possibilitando a viagem de ida e volta). Além disso, havia problemas com a estabilidade. É possível mostrar que, se você caísse pela ponte de Einstein-Rosen, as distorções do espaço-tempo que criaria poderiam forçar o buraco negro de Kerr a se fechar, tornando impossível uma viagem completa através da ponte.

A idéia de um buraco negro de Kerr agindo como um portal entre dois universos, por mais estranha que se afigurasse, não podia ser descartada por motivos físicos, porque os buracos negros estão realmente girando com grande rapidez. Entretanto, logo se tornou aparente que esses buracos negros, além de ligarem dois pontos distantes no espaço, também ligavam dois momentos no tempo, agindo como máquinas do tempo.

Quando Gödel descobriu a primeira solução de viagem no tempo das equações de Einstein, em 1949, aquilo foi considerado uma novidade, uma aberração isolada das equações. Desde então, porém, dezenas de soluções de viagem no tempo foram descobertas nas equações de Einstein. Por exemplo, constatou-se que uma solução antiga, descoberta por W. J. van Stockum em 1936, na verdade permitia a viagem no tempo. A solução de Van Stockum consistia em um cilindro infinito girando rapidamente ao redor do eixo, como aqueles pequenos postes giratórios das antigas barbearias americanas. Se você se deslocasse ao redor do cilindro giratório, poderia retornar ao ponto original antes de ter partido, à semelhança da solução de Gödel de 1949. Embora esta solução seja intrigante, o problema é que o cilindro precisa ter comprimento infinito. Um cilindro giratório finito aparentemente não funcionará. Por conseguinte, em princípio, tanto a solução de Gödel como a de Van Stockum podem ser descartadas por motivos físicos.

Em 1988, Kip Thorne e seus colegas da Caltech encontraram mais uma solução das equações de Einstein que admite a viagem no tempo através de um buraco de minhoca. Eles conseguiram solucionar o problema da viagem num só sentido pelo horizonte de eventos mostrando que um novo tipo de buraco de minhoca era totalmente atravessável. De fato, calcularam que uma viagem por tal máquina do tempo poderia ser tão confortável como andar de avião.

A chave para todas essas máquinas do tempo é a matéria ou energia que arqueia o espaço-tempo sobre si mesmo. Para arquear o tempo até formar uma rosca é preciso uma quantidade fantástica de energia, bem além de qualquer coisa conhecida pela ciência moderna. Para a máquina do tempo de Thorne, é preciso matéria negativa ou energia negativa. Ninguém jamais viu matéria negativa até hoje. Na verdade, se você segurasse uma porção dela na mão, ela cairia para cima, e não para baixo. As buscas de matéria negativa se mostraram infrutíferas. Se alguma existiu na Terra bilhões de anos atrás, teria caído no espaço, onde se perdeu para sempre. A energia negativa, por outro lado, realmente existe na forma do efeito Casimir. Se pegarmos duas chapas de metal paralelas e neutras, sabemos que não estão carregadas e, portanto, não são atraídas nem repelidas mutuamente. Elas deveriam permanecer em repouso.

No entanto, em 1948, Henrik Casimir apresentou um efeito quântico curioso, mostrando que as duas chapas paralelas na verdade se atrairão por uma força pequena, mas superior a zero, que foi de fato medida em laboratório.

Assim, uma máquina do tempo de Thorne pode ser construída desta maneira: tome dois conjuntos de chapas de metal paralelas. Devido ao efeito Casimir, a região entre cada conjunto de chapas terá energia negativa. De acordo com a teoria de Einstein, a presença de energia negativa abrirá buracos ou bolhas minúsculas no espaço-tempo (inferiores a uma partícula subatômica) dentro dessa região. Agora suponha, para fins de argumentação, que uma civilização avançada, bem à frente da nossa, consiga manipular esses buracos, agarrando um em cada par de chapas e esticando-os até que um tubo comprido ou buraco de minhoca ligue os dois conjuntos de chapas. (Ligar esses dois conjuntos de chapas paralelas por um buraco de minhoca está bem além das possibilidades da tecnologia atual.) Agora envie um par de chapas em um foguete que esteja viajando próximo da velocidade da luz, de modo que o tempo se retarde ali. Como já discutimos, os relógios no foguete andarão mais devagar que os relógios da Terra. Se você saltar para dentro do buraco dentro das chapas paralelas que estão na Terra, será sugado pelo buraco de minhoca que liga os dois conjuntos de chapas e se encontrará no foguete lá no passado, em um ponto diferente do espaço e tempo.

Desde então, o campo das máquinas do tempo (ou, mais apropriadamente, "curvas fechadas tipo-tempo") tornou-se uma área animada da física, com dezenas de artigos publicados com diferentes projetos, todos baseados na teoria de Einstein. No entanto, nem todo físico está satisfeito. Hawking, por exemplo, não gostou da idéia da viagem pelo tempo. Ele disse, ironicamente, que se a viagem pelo tempo fosse possível, estaríamos cercados de turistas do futuro. Se máquinas do tempo fossem comuns, a história seria impossível de registrar, mudando cada vez que alguém girasse o botão da máquina do tempo. Hawking declarou que quer tornar o mundo seguro para os historiadores. Entretanto, em *The once and future king*, de T. H. White, existe uma sociedade de formigas que segue o princípio: "Tudo que não é proibido é obrigatório". Os físicos levam esta lei a sério, de modo que Hawking foi forçado a postular a "conjectura da proteção cronológica", que proíbe as máquinas do tempo por decreto. (Hawking já desistiu de provar esta conjectura. Ele agora sustenta que as máquinas do tempo, embora teoricamente possíveis, não são viáveis.)

Essas máquinas do tempo aparentemente obedecem às leis da física, conforme conhecidas hoje. O segredo está em conseguir acessar essas tremendas energias (disponíveis apenas a "civilizações avançadas o bastante") e mostrar que esses buracos de minhoca são estáveis em relação às correções quânticas e não explodem nem se fecham quando se entra neles.

Cabe mencionar que os paradoxos do tempo (tais como matar seus pais antes de nascer) podem ser resolvidos em relação às máquinas do tempo. Como a teoria de Einstein se baseia em superfícies riemmanianas curvas e regulares, não desaparecemos simplesmente quando penetramos no passado e criamos um paradoxo do tempo. Existem duas soluções possíveis para os paradoxos da viagem no tempo. Em primeiro lugar, se o rio do tempo pode ter remoinhos, talvez apenas completemos o passado ao entrarmos na máquina do tempo. Isto significa que a viagem pelo tempo é possível, mas não podemos alterar o passado, apenas

concluí-lo. Estava nas regras do jogo que entraríamos na máquina do tempo. Este ponto de vista é defendido pelo cosmólogo russo Igor Novikov, que diz: "Não podemos enviar um viajante do tempo de volta ao Jardim do Éden para pedir a Eva que não pegue a maçã na árvore".[7] Em segundo lugar, o próprio rio do tempo pode se bifurcar em dois rios; ou seja, um universo paralelo pode se abrir. Desse modo, se você fuzilou seus pais antes de nascer, matou apenas pessoas geneticamente idênticas aos seus pais, mas que na verdade não são. Seus próprios pais de fato geraram você e tornaram seu corpo possível. O que aconteceu é que você saltou entre o nosso universo e um outro, de modo que todos os paradoxos do tempo são resolvidos.

Mas a teoria mais cara a Einstein foi sua teoria do campo unificado. Einstein observou para Helen Dukas que talvez daqui a cem anos os físicos compreenderão o que ele estava fazendo. Ele se enganou. Em menos de cinqüenta anos houve um renascimento do interesse pela teoria do campo unificado. A busca da unificação, antes objeto de zombaria dos físicos como algo irreal, está agora tentadoramente ao nosso alcance. Ela domina a agenda de quase todo encontro de físicos teóricos.

Após 2 mil anos de investigação das propriedades da matéria, desde que Demócrito e seus colegas gregos indagaram de que era feito o universo, a física produziu duas teorias concorrentes que são totalmente incompatíveis. A primeira é a teoria quântica, que é incomparável em termos de descrever o mundo dos átomos e partículas subatômicas. A segunda é a teoria da relatividade de Einstein, que nos forneceu teorias impressionantes de buracos negros e do universo em expansão. O paradoxo supremo é que essas duas teorias são totalmente opostas. Baseiam-se em pressupostos diferentes, matemáticas diferentes e modelos físicos diferentes. A teoria quântica se baseia em pacotes descontínuos de energia, chamados "*quanta*", e na dança das partículas subatômicas. A teoria da relatividade, porém, se baseia em superfícies regulares.

Os físicos atuais formularam a versão mais avançada da física quântica, corporificada em algo chamado de "Modelo Padrão", capaz de explicar os dados experimentais subatômicos. Em certo sentido, trata-se da teoria mais bem-sucedida da natureza, capaz de descrever as propriedades de três (a força eletromagnética e as forças nucleares fraca e forte) das quatro forças fundamentais. Por mais bem-sucedido que seja, o Modelo Padrão tem dois problemas gritantes. Primeiro, é muito feio, talvez a teoria mais feia já proposta em ciência. A teoria simplesmente junta as forças fraca, forte e eletromagnética na marra. É como se usássemos fita adesiva para juntar uma baleia, um tamanduá e uma girafa e alegássemos que aquela é a realização suprema da natureza, o produto final de milhões de anos de evolução. De perto, o Modelo Padrão consiste numa coleção desconcertante e heterogênea de partículas subatômicas com nomes estranhos que não fazem muito sentido, como *quarks*, bósons de Higgs, partículas de Yang-Mills, bósons-W, glúons e neutrinos. Pior, o Modelo Padrão simplesmente não menciona a gravidade. Na verdade, caso se tente enxertar a gravidade no Modelo Padrão, a teoria vai pelos ares. Ela produz absurdos. Todas as tentativas de quase cinqüenta anos de juntar a teoria quântica com a relatividade se mostraram infrutíferas. Diante de todos os seus defeitos estéticos, concluímos que o único ponto positivo da teoria é sua inegável correção

dentro do domínio experimental. Claramente, é preciso ir além do Modelo Padrão e reexaminar a abordagem de unificação de Einstein.

Após cinqüenta anos, o principal candidato a uma teoria de tudo, capaz de unificar a teoria quântica e a relatividade geral, é algo denominado "teoria das supercordas". Na verdade, é o único concorrente no jogo, porque todas as teorias rivais foram descartadas. Nas palavras do físico Steven Weinberg: "A teoria das cordas proporcionou nosso primeiro candidato plausível a uma teoria final".[8] Weinberg acredita que os mapas que guiavam os antigos marinheiros apontavam para a existência de um suposto Pólo Norte, embora decorressem séculos até que Robert Peary realmente pisasse nele em 1909. De forma semelhante, todas as descobertas na física das partículas apontam para a existência de um "pólo Norte" do universo, ou seja, uma teoria do campo unificado. A teoria das supercordas consegue absorver todas as características positivas da teoria quântica e da relatividade de uma forma surpreendentemente simples. A teoria das supercordas baseia-se na idéia de que as partículas subatômicas podem ser vistas como notas numa corda em vibração. Embora Einstein comparasse a matéria à madeira, devido às suas propriedades confusas e à natureza aparentemente caótica, a teoria das supercordas reduz a matéria à música. (Tudo indica que Einstein, um excelente violinista, gostaria disso.)

A certa altura na década de 1950, os físicos perderam a esperança de entender as partículas subatômicas, diante da profusão de novas partículas descobertas o tempo todo. J. Robert Oppenheimer, desgostoso, certa vez comentou: "O prêmio Nobel de Física deveria ser concedido ao físico que *não* descobrisse uma partícula nova naquele ano".[9] Essas partículas subatômicas receberam tantos nomes gregos estranhos que Enrico Fermi observou: "Se eu soubesse que haveria tantas partículas com nomes gregos, eu me tornaria um botânico, em vez de físico".[10] Mas, na teoria das cordas, se alguém tivesse um supermicroscópio e pudesse perscrutar diretamente o interior de um elétron, não descobriria uma partícula puntiforme, e sim uma corda em vibração. Quando a supercorda vibra num modo ou nota diferente, muda para uma partícula subatômica diferente, como um fóton ou um neutrino. Nesse modelo, as partículas subatômicas que vemos na natureza podem ser consideradas como a oitava mais baixa da supercorda. Desse modo, o dilúvio de partículas subatômicas descobertas ao longo das décadas nada mais são que notas nessa supercorda. As leis da química, que parecem tão confusas e arbitrárias, são as melodias tocadas em supercordas. O próprio universo é uma sinfonia de cordas. E as leis da física não passam de harmonias da supercorda.

A teoria das supercordas também consegue englobar todo o trabalho de Einstein em relatividade. Ao se mover no espaço-tempo, a corda força o espaço circundante a se curvar, exatamente como Einstein previu em 1905. Na verdade, a teoria das supercordas só ganha consistência caso consiga mover-se em um espaço-tempo compatível com a relatividade geral. Como observou o físico Edward Witten, ainda que Einstein jamais tivesse descoberto a teoria da relatividade geral, ela acabaria sendo descoberta por meio da teoria das cordas. Diz Witten:

> A teoria das cordas é extremamente atraente porque a gravidade nos é imposta. Todas as teorias das cordas consistentes conhecidas incluem a gravidade; assim, enquanto a gravidade é impossível na teoria do campo

quântico como a conhecemos, é obrigatória na teoria das cordas.[11]

Contudo, a teoria das cordas faz algumas outras previsões bem surpreendentes. As cordas só conseguem se mover de forma consistente em dez dimensões (uma dimensão de tempo e nove dimensões de espaço). Na verdade, a teoria das cordas é a única que fixa a dimensionalidade de seu próprio espaço-tempo. Como a teoria de Kaluza-Klein de 1921, ela consegue unificar a gravidade com o eletromagnetismo pressupondo que dimensões maiores conseguem vibrar, criando forças capazes de se espalhar por três dimensões como a luz. (Se adicionamos uma 11a dimensão, a teoria das cordas permite que membranas vibrem no hiperespaço. Trata-se da "teoria-M", capaz de absorver a teoria das cordas e fornecer novas visões da teoria, da perspectiva privilegiada da 11a dimensão.)

O que Einstein acharia da teoria das supercordas se ainda estivesse vivo? O físico David Gross disse:

> Einstein ficaria satisfeito, pelo menos com o objetivo, se não com a realização. [...] Ele teria gostado do fato de que há um princípio geométrico subjacente — que infelizmente não entendemos.[12]

A essência da teoria do campo unificado de Einstein, como vimos, era criar matéria (madeira) a partir da geometria (mármore). Gross comentou a respeito:

> Construir a matéria a partir da geometria — isto, em certo sentido, é o que a teoria das cordas faz. [...] É uma teoria da gravidade em que partículas de matéria, bem como as outras forças da natureza, surgem da mesma forma como a gravidade surge da geometria.

É instrutivo recuar ao trabalho inicial de Einstein na teoria do campo unificado, da perspectiva privilegiada da teoria das cordas. O segredo da genialidade de Einstein era sua capacidade de isolar as simetrias-chave do universo que unificam as leis da natureza. A simetria que unifica espaço e tempo é a transformação de Lorentz, ou rotações em quatro dimensões. A simetria por trás da gravidade é a co-variância geral, ou transformações de coordenadas arbitrárias do espaço-tempo.

Entretanto, no terceiro grande projeto de sua vida, de criar uma grande teoria unificadora, Einstein falhou, sobretudo por lhe faltar a simetria que unificasse gravidade e luz, ou seja, o mármore (geometria) com a madeira (matéria). Ele estava cônscio da falta de um princípio fundamental que o guiasse pelo emaranhado do cálculo dos tensores. Certa vez, escreveu: "Acredito que, para obter um progresso real, é preciso deslindar algum princípio geral novo da natureza".[13]

É exatamente o que a supercorda fornece. A simetria subjacente à supercorda denomina-se "supersimetria", uma simetria estranha e bonita que unifica a matéria com as forças. Como já mencionamos, as partículas subatômicas têm uma propriedade denominada "*spin*" que age como se elas fossem piões giratórios (*spinning*). O elétron, próton, nêutron e os *quarks* que constituem a matéria do universo têm *spin* e são chamados de "férmions", em homenagem a

Enrico Fermi, que explorou as propriedades das partículas com *spin* semi-inteiro. Os *quanta* das forças, porém, baseiam-se no eletromagnetismo (com *spin* 1) e gravitação (com *spin* 2). Observe que têm *spin* inteiro, sendo chamados de "bósons" (devido ao trabalho de Bose e Einstein). O ponto-chave é que, em geral, a matéria (madeira) é constituída de férmions com *spin* semi-inteiro, enquanto as forças (mármore) são constituídas de bósons com *spin* inteiro. *A supersimetria unifica férmions e bósons.* O ponto essencial é que a supersimetria permite a unificação da madeira e mármore, como Einstein desejava. Na verdade, a supersimetria permite um tipo novo de geometria que chegou a surpreender os matemáticos, chamada de "superespaço", que possibilita o "supermármore". Nessa abordagem nova, precisamos generalizar as dimensões antigas de espaço e tempo para incluir novas dimensões fermiônicas, que nos permitem então criar uma "superforça" da qual todas as forças se originaram no instante da criação.

Desse modo, alguns físicos especularam que é preciso generalizar o princípio original da co-variância geral de Einstein para que se leia: *as equações da física precisam ser super co-variantes* (ou seja, manter a mesma forma após uma transformação super co-variante).

A teoria das supercordas permite que reanalisemos o antigo trabalho de Einstein na teoria do campo unificado, mas a uma luz totalmente nova. Quando começamos a analisar as soluções das equações de supercordas, encontramos muitos dos espaços estranhos de que Einstein foi pioneiro já nas décadas de 1920 e 1930. Como vimos, ele estava trabalhando com generalizações do espaço riemanniano, que atualmente podem corresponder a alguns espaços encontrados na teoria das cordas. Einstein examinava esses espaços estranhos um após o outro, de forma torturante (incluindo espaços complexos, espaços com "torção", "espaços torcidos", "espaços anti-simétricos" etc.), mas se perdeu por falta de um princípio ou imagem física norteadora que o salvasse do emaranhado da matemática. É aí que a supersimetria entra em cena: ela age como um princípio organizador que permite analisar muitos desses espaços de uma perspectiva diferente.

A supersimetria é a simetria que enganou Einstein nas três últimas décadas de sua vida? A base da teoria do campo unificado de Einstein é que deveria se constituir de puro mármore, ou seja, pura geometria. A "madeira" feia que infestava sua teoria da relatividade original deveria ser absorvida pela geometria. A supersimetria pode conter o segredo de uma teoria do puro mármore. Nesta teoria, pode-se introduzir algo chamado de "superespaço", em que o próprio espaço se torna supersimetrizado. Em outras palavras, existe a possibilidade de que a *teoria do campo unificado final será feita de "supermármore", a partir de uma nova "supergeometria".*

Os físicos acreditam agora que, no instante do Big-Bang, todas as simetrias do mundo se unificaram, como acreditava Einstein. As quatro forças que vemos na natureza (gravidade, eletromagnetismo e as forças nucleares forte e fraca) foram unificadas numa "superforça" única no instante da criação, e só mais tarde se separaram, à medida que o universo esfriou. A busca de Einstein de uma teoria do campo unificado parecia impossível apenas porque atualmente vemos as quatro forças do mundo terrivelmente dissociadas em quatro porções. Se pudéssemos retroceder o relógio 13,7 bilhões de anos, até o Big-Bang original, veríamos a unidade cósmica do universo exibida em toda a sua glória, como Einstein imaginou.

Witten afirma que a teoria das cordas um dia dominará a física, assim como a mecânica quântica o fez no último meio século. No entanto, ainda há muitos obstáculos poderosos. Os críticos da teoria apontam alguns de seus pontos fracos. Primeiro, é impossível testá-la diretamente. Como a teoria das supercordas é uma teoria do universo, a única maneira de testá-la é recriar o Big-Bang, ou seja, criar energias num desintegrador de átomos que se assemelhe ao início do universo. Isto requereria um desintegrador de átomos do tamanho da galáxia, algo fora de cogitação, mesmo para uma civilização avançada. No entanto, grande parte da física é realizada de modo indireto, de modo que há grandes esperanças de que o Grande Colisor de Hádrons (LHC), a ser construído na periferia de Genebra, Suíça, terá energia suficiente para investigar a teoria. O LHC, quando for ligado no futuro próximo, acelerará prótons a trilhões de elétrons-volts, o suficiente para esmigalhar átomos. Ao examinar os escombros de tais colisões fantásticas, os físicos esperam encontrar um novo tipo de partícula, a superpartícula, que representaria uma ressonância ou oitava mais alta da supercorda.

Existe até certa especulação de que a matéria escura possa ser constituída de superpartículas. Por exemplo, o parceiro do fóton, denominado "fotino", tem carga neutra, é estável e possui massa. Se o universo estivesse preenchido com um gás de fotinos, não conseguiríamos vê-lo, mas ele agiria de forma parecida com a matéria escura. Um dia, se chegarmos a identificar a verdadeira natureza da matéria escura, ela poderá fornecer uma prova indireta da teoria das supercordas.

Outra forma de testar a teoria indiretamente é analisar ondas gravitacionais do Big-Bang. Quando os detectores de ondas gravitacionais da Lisa forem lançados no espaço na próxima década, poderão talvez captar ondas gravitacionais emitidas um trilionésimo de segundo após o instante da criação. Se forem compatíveis com as previsões da teoria das cordas, os dados poderão confirmar definitivamente a teoria.

A teoria-M pode também explicar alguns dos enigmas que cercam o antigo universo de Kaluza-Klein. Lembre-se de que uma objeção grave ao universo de Kaluza-Klein era que essas dimensões maiores não podiam ser vistas em laboratório, devendo ser menores que um átomo (senão os átomos flutuariam para dentro dessas dimensões maiores). Mas a teoria-M fornece uma solução possível, ao presumir que nosso próprio universo seja uma membrana flutuando num hiperespaço undecadimensional infinito. Assim, partículas subatômicas e átomos estariam confinados à nossa membrana (nosso universo), mas a gravidade, sendo uma distorção do hiperespaço, pode flutuar livremente entre universos.

Esta hipótese, por mais estranha que pareça, pode ser testada. Desde Isaac Newton, os físicos sabem que a gravidade diminui proporcionalmente ao quadrado da distância. Em quatro dimensões espaciais, a gravidade deveria diminuir proporcionalmente ao cubo da distância. Assim, medindo desvios minúsculos em relação a uma lei do quadrado inverso perfeita, pode-se detectar a presença de outros universos. Recentemente, conjecturou-se que, se existe um universo paralelo a apenas um milímetro de distância do nosso, ele poderia ser compatível com a gravidade newtoniana e também detectável com o LHC. Isso, por sua vez, gerou certo entusiasmo entre os físicos, ao perceberem que um aspecto da teoria das supercordas poderia ser testável brevemente, seja buscando-se superpartículas ou universos paralelos a um

milímetro do nosso.

Esses universos paralelos poderiam fornecer outra explicação para a matéria escura. Se existe um universo paralelo por perto, não seremos capazes de vê-lo ou senti-lo (já que a matéria está confinada ao nosso universo-membrana), mas conseguiríamos sentir sua gravidade (que pode se deslocar entre universos). Para nós, seria como se o espaço invisível tivesse alguma forma de gravidade, à semelhança da matéria escura. De fato, alguns teóricos das supercordas especularam que talvez a matéria escura possa ser explicada como a gravidade produzida por um universo paralelo próximo.

Mas o verdadeiro problema para provar a correção da teoria das supercordas não é o experimento. Não precisamos construir desintegradores de átomos ou satélites espaciais gigantescos para confirmar a teoria. O problema real é puramente teórico: se formos inteligentes o bastante para solucionar por completo a teoria, deveríamos ser capazes de encontrar todas as suas soluções, que incluiriam nosso universo, com suas estrelas, galáxias, planetas e pessoas. Até agora, ninguém na Terra é tão inteligente a ponto de solucionar totalmente essas equações. Talvez amanhã, ou daqui a algumas décadas, alguém venha a anunciar que solucionou por completo a teoria. Àquela altura, conseguiremos saber se é uma teoria de tudo ou uma teoria do nada. Devido à extrema precisão da teoria das cordas, sem quaisquer parâmetros ajustáveis, não existe um meio-termo.

A teoria das supercordas ou a teoria-M permitirá a unificação das leis da natureza num todo simples e coerente, como Einstein certa vez previu? Por enquanto, é cedo demais para saber. Recordemos as palavras de Einstein: "O princípio criativo reside na matemática. Em certo sentido, portanto, acredito que o pensamento puro possa captar a realidade, como sonhavam os antigos".[14] Talvez um jovem leitor deste livro, inspirado por essa busca da unificação de todas as forças físicas, venha a levar a cabo o projeto.

Desse modo, como deveríamos reavaliar o verdadeiro legado de Einstein? Em vez de dizer que ele devia ter ido pescar após 1925, talvez um tributo mais adequado fosse: *Todo o conhecimento físico no nível fundamental está contido em dois pilares da física: a relatividade geral e a teoria quântica. Einstein foi o fundador da primeira, o padrinho da segunda e abriu caminho para a possível unificação das duas.*



NOTAS

PREFÁCIO

1. Brian, p. 436.
2. Pais, *Einstein lived here*, p. 43.

CAPÍTULO 1. A FÍSICA ANTES DE EINSTEIN

1. Pais, *Einstein lived here*, p. 152.
2. French, p. 171.
3. Cropper, p. 19.
4. *Ibid.*, p. 173.
5. *Ibid.*, p. 163.
6. *Ibid.*, p. 164.

CAPÍTULO 2. OS ANOS INICIAIS

1. Brian, p. 3.
2. Clark, p. 27.
3. Brian, p. 3.
4. Pais, *Subtle is the Lord*, p. 38.
5. Cropper, p. 205.
6. Schilpp, p. 9.
7. *Ibid.*, p. 5.
8. Pais, *Subtle is the Lord*, p. 38.
9. Schilpp, p. 9.
10. Sugimoto, p. 14.
11. Brian, p. 7.
12. Clark, p. 65.
13. Folsing, p. 39.
14. *Ibid.*, p. 44.
15. Brian, p. 12; Folsing, p. 42.
16. Schilpp, p. 15.
17. *Ibid.*, p. 53.
18. Calaprice, p. 261.

19. Clark, p. 55.
20. Pais, *Subtle is the Lord*, p. 44; Brian, p. 31.
21. Folsing, p. 57.
22. Sugimoto, p. 19.
23. Folsing, p. 71.
24. Brian, p. 31.
25. *Ibid.*, p. 47.
26. *Ibid.*
27. *Ibid.*, p. 25.
28. *Ibid.*
29. Thorne, p. 69.
30. Schilpp, p. 3.
31. Pais, *Subtle is the Lord*, p. 41.
32. Brian, p. 69.
33. *Ibid.*, p. 52.
34. *Ibid.*, p. 53.
35. *Ibid.*
36. Sugimoto, p. 33.
37. *Ibid.*, p. 31.
38. Brian, p. 55.

CAPÍTULO 3. RELATIVIDADE RESTRITA E O "ANO MILAGROSO"

1. Folsing, p. 166.
2. Brian, p. 61.
3. *Ibid.*
4. *Ibid.*, p. 152. Muitas biografias remontam as idéias de Einstein ao experimento de Michelson-Morley. Mas, como o próprio Einstein deixou claro em várias ocasiões, esse experimento afetou seu pensamento apenas perifericamente. Ele foi levado à teoria da relatividade via equações de Maxwell. Todo o objetivo de seu artigo original foi mostrar que as equações de Maxwell tinham uma simetria oculta revelada por sua teoria da relatividade, e que isso deveria ser elevado a um princípio universal da física.
5. Folsing, p. 155; Pais, *Subtle is the Lord*, p. 139.
6. Cropper, p. 206.
7. Folsing, p. 196.
8. *Ibid.*, p. 197.
9. Brian, p. 71.
10. *Ibid.*, p. 72.
11. *Ibid.*, p. 76.
12. Cropper, p. 220.
13. Clark, p. 159.
14. Cropper, p. 220.
15. Brian, p. 73.
16. *Ibid.*, p. 75.
17. Cropper, p. 215.
18. No decorrer das décadas, dezenas de paradoxos foram apresentados para ilustrar a natureza aparentemente estranha da relatividade restrita. Envolvem em geral dois referenciais, deslocando-se em velocidades diferentes, que estão fazendo observações do mesmo objeto. Os paradoxos surgem porque os observadores em cada referencial vêem o mesmo objeto de duas maneiras totalmente diferentes. Quase todos os paradoxos podem ser resolvidos através de duas observações. Primeira:

a contração do comprimento em um referencial tem que ser contrabalançado pela dilatação do tempo no outro. Os paradoxos surgem quando esquecemos de contrabalançar a distorção do espaço com a distorção do tempo. Segunda: paradoxos também surgem se nos esquecemos de juntar os dois referenciais no final. A resolução final de quem está realmente mais novo ou mais curto pode ser obtida quando juntamos os dois observadores no espaço e tempo e os comparamos. Se não os juntarmos, será possível haver dois objetos, cada um mais curto e mais novo que o outro, o que é impossível na física newtoniana.

19. Ultrapassar a velocidade da luz para romper a barreira do tempo e retroceder no tempo não é possível. À medida que você se aproxima da velocidade da luz, sua massa torna-se quase infinita, você é espremido até ficar quase infinitamente delgado, e o tempo quase pára. Daí a velocidade da luz ser a velocidade máxima do universo. Entretanto, discuto possíveis brechas nesta regra mais tarde, quando escrevo sobre buracos de minhoca e as pontes Einstein-Rosen.
20. Sugimoto, p. 44.
21. Cropper, p. 216.
22. Folsing, p. 336.
23. *Ibid*., p. 332.
24. Brian, p. 151.

CAPÍTULO 4. RELATIVIDADE GERAL E O "PENSAMENTO MAIS FELIZ DA MINHA VIDA"

1. Pais, *Subtle is the Lord*, p. 239.
2. *Ibid*., p. 179; Folsing, p. 303.
3. Folsing, p. 435.
4. Calaprice, p. 9.
5. Pais, *Subtle is the Lord*, p. 212.
6. Folsing, p. 315.
7. Calaprice, p. 252.
8. Princípio de Mach: mais precisamente, o princípio de Mach afirma que a inércia de um objeto, e portanto sua massa, se deve à presença de todas as outras massas no universo, por exemplo, as estrelas distantes. Mach reafirmou uma observação conhecida já no tempo de Newton: a superfície de um balde d'água rotante abaixa (devido às forças centrípetas). Quanto mais rápida a rotação, maior o abaixamento da superfície. Se todos os movimentos são relativos, inclusive as rotações, pode-se considerar que o balde está em repouso e todas as estrelas distantes giram à sua volta. Desse modo, raciocinou Mach, era a rotação das estrelas distantes que fazia com que a superfície d'água do balde estacionário abaixasse. Assim, a presença de estrelas distantes determina as propriedades inerciais do balde d'água, inclusive sua massa. Einstein modificou esta lei para significar que o campo gravitacional é determinado univocamente pela distribuição das massas no universo.
9. Folsing, p. 320.
10. A co-variância geral implica que as equações conservam a mesma forma após uma mudança de coordenadas (atualmente isto é chamado de "transformação de calibre"). Einstein não percebeu em 1912 que isto significava que as previsões físicas de sua teoria também permaneciam inalteradas após uma mudança de coordenadas. Assim, em 1912, ele achou, para seu desespero, que sua teoria fornecia um número infinito de soluções para o campo gravitacional em torno do Sol. Mas, três anos depois, subitamente percebeu que todas aquelas soluções descreviam o mesmo sistema físico: o Sol. Portanto, a curvatura de Ricci era um objeto matemático perfeitamente bem definido capaz de descrever de forma unívoca é o campo gravitacional ao redor de uma estrela, de acordo com o princípio de Mach.
11. Folsing, p. 374.
12. *Ibid*., p. 373.
13. *Ibid*., p. 372.
14. Brian, p. 89.
15. Sugimoto, p. 51.
16. Folsing, p. 343.

17. O caos causado pela Primeira Guerra Mundial quase fechou a Universidade de Berlim, quando estudantes assumiram o controle do campus e tomaram como reféns professores e reitor. Os membros do corpo docente pediram que Einstein ajudasse a negociar sua libertação. Einstein, por sua vez, pediu que o físico Max Born o ajudasse no perigoso percurso para negociar com os estudantes. Born mais tarde escreveria que eles percorreram "o Bairro Bávaro, passando por ruas dominadas por jovens vociferantes, de aspecto selvagem e com distintivos vermelhos. [...] Einstein era conhecido como politicamente de esquerda, se não 'comunista', sendo a pessoa ideal para ajudar a negociar com os estudantes" (Brian, p. 97). Einstein foi reconhecido pelos estudantes, que lhe entregaram suas reivindicações. Eles concordaram em libertar seus reféns se o presidente socialdemocrata recém-eleito, Friedrich Ebert, as atendesse. Einstein e Born fizeram então o percurso até o palácio do chanceler do Reich e apelaram ao presidente, que então concordou em autorizar a libertação dos reféns. Born recordou posteriormente: "Deixamos o palácio do chanceler do Reich animadíssimos, com a sensação de termos participado de um evento histórico, e na esperança de que a era da arrogância prussiana, dos *Junkers*, da hegemonia dos aristocratas, das panelinhas de oficiais e dos militares tivesse chegado ao fim e de que agora a democracia alemã estivesse vitoriosa". Einstein e Born, dois físicos teóricos interessados nos segredos do átomo e do universo, haviam aparentemente encontrado uma aplicação mais prática para seus talentos: salvar sua universidade.

CAPÍTULO 5. O NOVO COPÉRNICO

1. Sugimoto, p. 57.
2. Calaprice, p. 97.
3. Parker, p. 124.
4. *Ibid*.
5. Clark, p. 290; Parker, p. 124.
6. Parker, p. 126.
7. *Ibid*.
8. Folsing, p. 445.
9. *Ibid*.
10. *Ibid*., p. 451.
11. *Ibid*., p. 343.
12. Cropper, p. 217.
13. *Ibid*., p. 217.
14. Brian, p. 106.
15. *Ibid*., p. 102.
16. *Ibid*., p. 101.
17. *Ibid*., p. 102.
18. *Ibid*., p. 103.
19. Folsing, p. 199.
20. Pais, *Einstein lived here*, p. 219.
21. Sugimoto, p. 66.
22. Brian, p. 113.
23. Cabe observar que seus colegas sionistas muitas vezes temeram que Einstein, famoso pela franqueza, dissesse coisas que eles desaprovassem. Certa vez, por exemplo, ele achou que a pátria judaica deveria ser no Peru, enfatizando que ninguém deveria ser desnecessariamente removido se os judeus se estabelecessem ali. Einstein muitas vezes afirmava que a amizade e o respeito mútuo entre os povos judeu e árabe eram fatores fundamentais em qualquer tentativa bem-sucedida de criar um Estado judeu no Oriente Médio. Ele certa vez escreveu: "Eu preferiria ver um acordo razoável com os árabes baseado na coexistência pacífica à criação de um Estado judeu" (Calaprice, p. 135).
24. Brian, p. 120.
25. *Ibid*., p. 121.
26. Sugimoto, p. 74.

27. Brian, p. 121.
28. *Ibid.*, p. 130.
29. Pais, *Einstein lived here*, p. 154.
30. Folsing, p. 505.
31. Brian, p. 131.
32. Pais, *Einstein lived here*, p. 152.
33. Sugimoto, p. 63.
34. *Ibid.*, p. 64.
35. Clark, p. 360.
36. Brian, p. 150.
37. *Ibid.*, p. 146.
38. Brian, p. 144.
39. Einstein, uma figura popular da sociedade alemã, vivia cercado de matronas ricas desejosas de ouvir seus ditos espirituosos e sábios, muitas delas fazendo doações generosas para suas causas e instituições de caridade favoritas. Algumas chegavam a enviar a limusine pessoal para apanhar Einstein na residência de verão em Caputh e conduzi-lo a um concerto ou evento beneficente. Inevitavelmente, surgiam rumores sobre supostos casos amorosos. Se investigamos a origem desses rumores, descobrimos que vinham sobretudo das recordações da empregada da residência de verão, Herta Waldow, que vendia seus depoimentos à imprensa. No entanto, ela não tinha prova de nenhum caso extraconjugal e admitia que essas mulheres da sociedade davam chocolates de presente a Elsa, quando vinham apanhar seu marido, a fim de evitar qualquer suspeita de conduta indecorosa. Além disso, Konrad Wachsmann, arquiteto que ajudou a projetar a residência de verão em Caputh, observou o lar de Einstein e concluiu que aqueles casos eram totalmente inofensivos. Ele acreditava serem "quase sem exceção" de natureza platônica, que Einstein nunca traiu Elsa com aquelas mulheres.
40. Cropper, p. 217.
41. Pais, *Einstein lived here*, p. 184.
42. Sugimoto, p. 122.
43. Brian, p. 205.
44. Calaprice, p. 336.
45. Pais, *Subtle is the Lord*, p. 318.
46. Pais, *Einstein lived here*, p. 186.
47. Calaprice, p. 293.
48. Pais, *Einstein lived here*, p. 122.
49. *Ibid.*, p. 119.
50. Sugimoto, p. 113.
51. Brian, p. 186.

CAPÍTULO 6. O BIG-BANG E OS BURACOS NEGROS

1. Misner *et al.*, p. 756.
2. Croswell, p. 35.
3. Thorne, p. 210.
4. Petters *et al.*, p. 7.
5. *Ibid.*, p..

CAPÍTULO 7.

1. Pais, *Subtle is the Lord*, p. 23.
2. Parker, p. 209.

3. Pais, *Subtle is the Lord*, p. 343.
4. *Ibid.*, p. 330.
5. *Ibid.*, p. 330.
6. Pais, *Einstein lived here*, p. 179.
7. Cropper, p. 257.
8. *Ibid.*
9. *Ibid.*
10. *Ibid.*
11. Calaprice, p. 231.
12. Moore, p. 195.
13. Como a matéria prefere descambar para o estado de energia mínima, isto implicava que todos os elétrons poderiam cair nesses estados de energia negativa, causando o colapso do universo. Para impedir esse desastre, Dirac postulou que todos os estados de energia negativa já estavam preenchidos. Um raio gama de passagem poderia retirar um elétron de seu estado de energia negativa, deixando um "buraco" ou bolha. Esse buraco, previu Dirac, se comportaria como um elétron de carga positiva, ou seja, antimatéria.
14. Pais, *Inward bound*, p. 348.
15. *Ibid.*, p. 360.
16. Folsing, p. 585.
17. *Ibid.*
18. Brian, p. 156.
19. Ferris, p. 290.
20. A apresentação mais clara da posição de Einstein sobre determinismo e incerteza foi esta: "Sou um determinista, compelido a agir como se o livre-arbítrio existisse, porque, se desejo viver numa sociedade civilizada, preciso agir de modo responsável. Sei filosoficamente que um assassino não é responsável por seus crimes, mas prefiro não tomar chá com ele. [...] Não tenho controle nenhum, sobretudo no caso daquelas glândulas misteriosas em que a natureza prepara a própria essência da vida. Henry Ford pode chamá-lo de sua Voz Interior, Sócrates referiu-se a seu *daimon*: cada homem explica à sua própria maneira o fato de que a vontade humana não é livre. Tudo é determinado, o início bem como o fim, por forças sobre as quais não temos nenhum controle. É determinado para o inseto, tanto quanto para a estrela. Os seres humanos, vegetais ou a poeira cósmica, todos dançamos ao compasso de um tempo misterioso, entoado à distância por um músico invisível"(Brian, p. 185).
21. Cropper, p. 244.
22. Folsing, p. 561.
23. *Ibid.*, p. 591.
24. Bria, p. 306.
25. Kaku, *Hyperspace*, p. 280.
26. *Ibid.*, p. 260.
27. Calaprice, p. 260.
28. Brian, p. 281.
29. *Ibid.*
30. Folsing, p. 698.
31. Pais, *Einstein lived here*, p. 128.

CAPÍTULO 8. GUERRA, PAZ E E = MC2

1. Cropper, p. 226.
2. Sugimoto, p. 127.
3. Pais, *Einstein lived here*, p. 190.
4. Folsing, p. 675.
5. *Ibid.*

6. Cropper, p. 271.
7. Brian, p. 247.
8. Cropper, p. 271.
9. Moore, p. 265.
10. Cropper, p. 226.
11. Brian, p. 251.
12. Parker, p. 17.
13. Folsing p. 672.
14. *Ibid.*
15. Brian, p. 297.
16. *Ibid.*
17. Folsing, p. 699.
18. *Ibid.*, p. 707.
19. *Ibid.*, p. 708.
20. *Ibid.*
21. *Ibid.*, p. 709.
22. *Ibid.*, p. 708.
23. *Ibid.*, p. 712.
24. Pais, *Inward bound*, p. 436.
25. Cropper, p. 340.
26. Folsing, p. 710.
27. *Ibid.*, p. 712.
28. *Ibid.*
29. Cropper, p. 342.
30. *Ibid.*
31. Folsing, p. 714.
32. *Ibid.*
33. *Ibid.*, p. 715.
34. Brian, p. 344.
35. Em 1948, ele ajudou a redigir a Mensagem aos Intelectuais, que afirmava: "O homem não conseguiu desenvolver formas de organização política e econômica que garantam a coexistência pacífica das nações do mundo. Nós, cientistas, cujo destino trágico foi ajudar a tornar os métodos de aniquilamento mais pavorosos e eficazes, devemos considerar como nosso dever solene e transcendente fazer todo o possível para impedir que essas armas sejam usadas com o propósito brutal para o qual foram inventadas. Qual tarefa poderia ser mais importante para nós? Qual objetivo social poderia estar mais próximo de nossos corações?" (Sugimoto, p. 153). Ele esclareceu sua visão sobre o governo mundial ao dizer: "A única salvação para a civilização [...] reside na criação do governo mundial, com a segurança das nações baseada na lei.[...] Enquanto os Estados soberanos continuarem tendo armamentos separados e segredos militares, novas guerras mundiais serão inevitáveis" (Folsing, p. 721).
36. Brian, p. 350.
37. *Ibid.*, p. 359.
38. Weinberg, p. 153.
39. Brian, p. 331.
40. *Subtle is the Lord*, p. 465.
41. *Ibid.*, p. 162.
42. Brian, p. 377.
43. Cropper, p. 223.
44. *Ibid.*
45. Calaprice, p. 232.

46. *Ibid.*, p. 241.
47. *Ibid.*
48. Pais, *Inward bound*, p. 585.
49. Kaku, *Beyond Einstein*, p. 11.
50. Cropper, p. 252.
51. Overbye, p. 377.
52. Calaprice, p. 63.

CAPÍTULO 9. O LEGADO PROFÉTICO DE EINSTEIN

1. Crease e Mann, p. 67.
2. Barrow, p. 378.
3. Mais precisamente, Bell defendeu que o antigo experimento EPR fosse reexaminado. Em princípio, é possível medir os ângulos criados pelo eixo de polarização dos pares de elétrons. Por meio de uma análise detalhada da correlação entre diferentes ângulos de polarização entre os dois pares de elétrons, Bell conseguiu criar uma desigualdade, chamada de "desigualdade de Bell", relativa àqueles ângulos. Se a mecânica quântica estivesse correta, um conjunto de relações seria satisfeito. Se a mecânica quântica estivesse incorreta, outro conjunto de relações seria satisfeito. Cada vez que esse experimento foi realizado, as previsões da mecânica quântica mostraram-se corretas.
4. Barrow, p. 144.
5. Petters *et al.*, p. 155; *New York Times*, 31 de março de 1998.
6. *New York Times*, *ibid.*
7. Hawking *et al.*, p. 85.
8. Weinberg, p. 212.
9. Kaku, *Beyond Einstein*, p. 67.
10. *Ibid.*
11. Davies e Brown, p. 95. Cabe observar também que a versão mais recente da teoria das cordas se denomina "teoria-M". A teoria das cordas é definida no espaço decadimensional (com nove dimensões de espaço e uma de tempo). Entretanto, existem cinco teorias das cordas consistentes que podem ser formuladas em dez dimensões, o que tem intrigado os teóricos, que gostariam de um candidato único a teoria do campo unificado, e não cinco. Recentemente, Witten e colegas mostraram que todas as cinco teorias são, na verdade, equivalentes caso se defina a teoria no espaço undecadimensional (com dez dimensões de espaço e uma de tempo). Em onze dimensões, membranas dimensionais mais altas podem existir, e alguns especulam que nosso universo pode ser uma dessas membranas. Embora a introdução da teoria-M tenha sido um grande avanço para a teoria das cordas, no atual momento ninguém sabe as equações precisas da teoria-M.
12. *Ibid.*, p. 150.
13. Pais, *Subtle is the Lord*, p. 328.
14. Kaku, *Quantum field theory*, p. 699.

Bibliografia

Em seu testamento, Einstein doou todos os seus manuscritos e cartas dos Arquivos Einstein à Universidade Hebraica de Jerusalém. Cópias dos documentos podem ser encontradas na Universidade de Princeton e na Universidade de Boston. *The collected papers of Albert Einstein* (vols. 1 a 5), organizado por John Stachel, fornece traduções inglesas desse material volumoso.

BARROW, John D. *The universe that discovered itself*. Oxford University Press, Oxford, 2000.
BARTUSIAK, Marcia. *Einstein's unfinished symphony*. Joseph Henry Press, Washington, D.C., 2000.
BODANIS, David. *E = mc2*. Walker, Nova York, 2000.
BRIAN, Denis. *Einstein: A life*. John Wiley and Sons, Nova York, 1996.
CALAPRICE, Alice (org.). *The expanded quotable Einstein*. Princeton University Press, Princeton, 2000.
CLARK, Ronald. *Einstein: The life and times.* World Publishing, Nova York, 1971.
CREASE, R. e MANN, C. C. *Second creation*. Macmillan, Nova York, 1986.
CROPPER, William H. *Great phisicists.* Oxford University Press, Nova York, 2001.
CROSWELL, Ken. *The universe at midnight*. Free Press, Nova York, 2001.
DAVIES, P. C. W. e BROWN, Julian (orgs.). *Superstrings: A theory of everything?* Cambridge University Press, Nova York, 1988.
EINSTEIN, Albert. *Ideas and opinions.* Random House, Nova York, 1954.
———. *The meaning of relativity.* Princeton University Press, Princeton, 1953.
EINSTEIN, Albert. *Relativity: The special and the general theory*. Routledge, Nova York, 2001.
———. *The world as I see it.* Kensington, Nova York, 2000.
———. LORENTZ, H. A., WEYL, H. e MINKOWSKI, H. *The principle of relativity*. Dover, Nova York, 1952.
FERRIS, Timothy. *Coming of age in the Milky Way*. Anchor Books, Nova York, 1988.
FLÜCKIGER, Max. *Albert Einstein in Bern*. Paul Haupt, Berna, 1972.
FOLSING, Albrecht. *Albert Einstein*. Penguin Books, Nova York, 1997.
FRANK, Philip. *Einstein: His life and his thoughts*. Alfred A. Knopf, Nova York, 1949.
FRENCH, A. P. (org.). *Einstein: A centenary volume.* Harvard University Press, Cambridge, 1979.
GELL-MANN, Murray. *The quark and the jaguar*. W. H. Freeman, San Francisco, 1994.
GOLDSMITH, Donald. *The runaway universe*. Perseus Books, Cambridge, Mass., 2000.
HAWKING, Stephen, THORNE, Kip, NOVIKOV, Igor, FERRIS, Timothy e LIGHTMAN, Alan. *The future of spacetime*. W. W. Norton, Nova York, 2002.
HIGHFIELD, Roger e CARTER, Paul. *The private lives of Albert Einstein*. St. Martin's, Nova York, 1993.
HOFFMAN, Banesh e DUKAS, Helen. *Albert Einstein, creator and rebel.* Penguin, Nova York, 1973.
KAKU, Michio. *Beyond Einstein*. Anchor Books, Nova York, 1995.
———. *Hyperspace*. Anchor Books, Nova York, 1994.
———. *Quantum field theory*. Oxford University Press, Nova York, 1993.
KRAGH, Helge. *Quantum generations*. Princeton University Press, Princeton, 1999.
MILLER, Arthur I. *Einstein, Picasso*. Perseus Books, Nova York, 2001.
MISNER, C. W., THORNE, K. S. e WHEELER, J. A. *Gravitation*. W. H. Freeman, San Francisco, 1973.
MOORE, Walter. *Schrödinger, life and thought*. Cambridge University Press, Cambridge, 1989.
OVERBYE, Dennis. *Einstein in love: A scientific romance.* Viking, Nova York, 2000.

PAIS, Abraham. *Einstein lived here: Essays for the layman*. Oxford University Press, Nova York, 1994.
———. *Inward bound: Of matter and forces in the physical world.* Oxford University Press, Nova York, 1986.
———. *Subtle is the Lord –: The science and the life of Albert Einstein.* Oxford University Press, Nova York, 1982.
PARKER, Barry. *Einstein's brainchild: Relativity made relatively easy.* Prometheus Books, Amherst, N.Y., 2000.
PETTERS, A. O., LEVINE, H. e WAMBGANSS, J. *Singularity theory and gravitational lensing.* Birkhauser, Boston, 2001.
SAYEN, Jamie. *Einstein in America*. Crown Books, Nova York, 1985.
SCHILPP, Paul. *Albert Einstein: Philosopher-scientist*. Tudor, Nova York, 1951.
SEELIG, Carl. *Albert Einstein.* Staples Press, Londres, 1956.
SILK, Joseph. *The Big Bang*. W. H. Freeman, San Francisco, 2001.
STACHEL, John (org.). *The collected papers of Albert Einstein*. vols. 1 e 2. Princeton University Press, Princeton, 1989.
STACHEL, John (org.). *Einstein's miraculous year*. Princeton University Press, Princeton, 1998.
SUGIMOTO, Kenji. *Albert Einstein: A photografic biography.* Schocken Books, Nova York, 1989.
THORNE, Kip S. *Black holes and time warps: Einstein's outrageous legacy.* W. W. Norton, Nova York, 1994.
TREFIL, James S. *The moment of creation.* Collier Books, Nova York, 1983.
WEINBERG, Steven. *Dreams of a final theory.* Pantheon Books, Nova York, 1992.
ZACKHEIM, Michele. *Einstein's daughter.* Riverhead Books, Nova York, 1999.
ZEE, A. *Einstein's universe: Gravity at work and play*. Oxford University Press, Nova York, 1989.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a acolhida do pessoal da Biblioteca da Universidade de Princeton, onde parte da pesquisa para este livro foi realizada. A biblioteca contém cópias de todos os manuscritos e materiais originais de Einstein. Gostaria também de agradecer aos professores V. P. Nair e Daniel Greenberger, do City College de Nova York, por lerem o manuscrito e fazerem comentários úteis e críticos. Além disso, conversas com Fred Jerome, que conseguiu a ficha volumosa de Einstein no FBI, foram muito úteis. Sou também grato a Edwin Barber, por seu apoio e encorajamento, e a Jesse Cohen, por comentários e mudanças editoriais valiosos que melhoraram muito o manuscrito, dando-lhe mais objetividade. Também sou profundamente grato a Stuart Krichevsky, o agente literário de muitos de meus livros de ciência durante todos esses anos.

Copyright © 2004 by Michio Kaku
Atlas Books, L.L.C./W. W. Norton & Company, Inc.
Publicado originalmente nos Estados Unidos.

TÍTULO ORIGINAL
Einstein's cosmos: How Albert Einstein's vision transformed our understanding of space and time

CAPA E PROJETO GRÁFICO DA COLEÇÃO
Kiko Farkas/ Máquina Estúdio
Elisa Cardoso/ Máquina Estúdio

FOTO DE CAPA
Santa Bárbara, Califórnia, começo dos anos 1930. © Leo Baeck Institute/ Nova York

FOTO DE LOMBADA
Arthur Sasse/ AFP/ Getty Images

REVISÃO TÉCNICA
Rogério Rosenfeld (Instituto de Física Teórica/Unesp)

PREPARAÇÃO
Leny Cordeiro

REVISÃO
Ana Maria Barbosa e Andréa Vidal

ISBN 978-85-8086-266-9

Todos os direitos desta edição reservados à
EDITORA SCHWARCZ LTDA.
Rua Bandeira Paulista 702 cj. 32
04532-002 — São Paulo — SP
Telefone: (11) 3707-3500
Fax: (11) 3707-3501
www.companhiadasletras.com.br