

Título original: *Science as a Human Endeavor*

Traduzido da primeira edição norte-americana publicada em 1978  
por Columbia University Press, de Nova York, EUA

© Copyright 1978 by Columbia University Press  
All rights reserved. Direitos reservados (Lei 5.988)

Direitos exclusivos para a língua portuguesa  
Copyright © by

ZAHAR EDITORES S.A.  
Travessa do Ouvidor, 11  
Rio de Janeiro. RJ — CEP 20040

1978'— 5 4 3 2

Reservados todos os direitos. É proibida a duplicação ou  
reprodução deste volume, ou de partes do mesmo,  
sob quaisquer formas ou por quaisquer meios  
(eletrônico, mecânico, gravação, fotocópia, ou outros),  
sem permissão expressa da Editora.

CIP-Brasil. Catalogação-na-fonte  
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ.

Kneller, George F., 1908-  
K76c      A Ciência como atividade humana / George F. Kneller; tradução  
de Antonio José de Souza. - Rio de Janeiro: Zahar; São Paulo: Ed. da  
Universidade de São Paulo, 1980.

Tradução de: *Science as a human endeavor*

1. Ciência 2. Ciência - Aspectos sociais 3. Ciência - Filosofia I. Título

80-0395

CDD - 500  
CDU - 5

Impresso no Brasil

# 1

## A Ciência na História

Dito de maneira simples, Ciência é conhecimento da natureza e exploração desse conhecimento. Entretanto, essa exploração envolve muitas coisas. Envolve, por exemplo, uma história, um método de investigação e uma comunidade de investigadores. Hoje, em especial, a Ciência é uma força cultural de esmagadora importância e uma fonte de informação indispensável à tecnologia. A minha finalidade neste livro é explicar esses aspectos da Ciência e mostrar como estão inter-relacionados.

### **A Ciência e a Ordem da Natureza**

Olhando através da História, verificamos que a natureza tem sido estudada por várias razões. No Liceu<sup>1</sup> de Aristóteles, ela era estudada para esclarecer e aperfeiçoar aquele que buscava o conhecimento; na Europa renascentista, para desvendar o plano de Deus em Sua criação; nos tempos modernos, para ampliar o conhecimento, tanto por amor ao saber quanto por seus usos sociais e técnicos. Mas os cientistas parecem ter sido inspirados menos por esses ambiciosos propósitos do que por duas emoções primordiais; o assombro e o medo. O homem primitivo estava em grande parte à mercê da natureza. Talvez o seu motivo mais forte para investigação natural fosse atingir a paz de espírito, através de alguma explicação plausível para os desastres da natureza. Ele queria descobrir as causas de terremotos, inundações, incêndios e doenças. Na China os filósofos naturais taoístas, na Eu-

<sup>1</sup> O Liceu era um passeio nos arredores de Atenas onde os professores davam aulas. A escola de Aristóteles parece ter adquirido aí um terreno pouco depois de sua morte em 322 a.C. O nome parece ter sido dado à própria escola porque era a maior comunidade de pesquisa no mundo antigo, até ser suplantada no século seguinte pela comunidade científica de Alexandria.

ropa antiga os estóicos, os epicuristas e os adeptos do atomista Demócrito, todos praticaram a Ciência por esse motivo.<sup>2</sup> Epicuro escreveu que, "se não fôssemos perturbados por apreensões acerca de fenômenos no céu e a respeito da morte, se nada disso nos afetasse de um modo ou de outro, e também se não fôssemos perturbados por nosso fracasso em perceber os limites das dores e dos desejos, não teríamos necessidade alguma de estudar a natureza".<sup>3</sup>

O medo é aliviado pelo reconhecimento de que a natureza é ordenada e inteligível. O assombro começa com esse reconhecimento. À medida que a Ciência crescia e os homens começavam a dominar o mundo, o assombro converteu-se na força motriz das grandes realizações científicas. Einsteio salientou eloqüentemente esse ponto:

O sentimento religioso cósmico é o mais forte e antigo motivo para a pesquisa científica. Só os que compreendem os imensos esforços e, sobretudo, a devoção sem os quais o trabalho pioneiro na ciência teórica não poderia ser realizado, estão em condições de entender que a força da emoção é a única responsável por esse trabalho tão distante das realidades imediatas da vida. Que profunda convicção na racionalidade do universo e que fervoroso anseio de compreendê-lo! ... Kepler e Newton devem ter tido que se preparar para consumir anos de trabalho solitário na decifração dos princípios da mecânica celeste!<sup>4</sup>

Qual é, então, a "ordem da natureza?" Para muitas pessoas, são as leis celestiais, admiradas pelo filósofo Kant, que as comparou às "leis em nossos corações", e celebradas por George Meredith em seu poema "Lucifer in Starlight" [Lúcifer à Luz das Estrelas]:

***He reached a middle heighr, and at the stars,  
Which are the brain of heaven, he looked, and sank.  
Around the ancient track marched, rank on rank,  
The army of unalterable law.***<sup>5</sup>

[Ele atingiu a meia altura e ao contemplar as estrelas,  
Que são o cérebro dos céus, no atro mergulhou.  
Pelo velho trilho marchava, em colunas cerradas,  
O exército da lei inalterável.]

Ver Joseph Needham, *Science and Civilisation in China*. vol. 2, *History of Scientific Thought*, pp. 63-68.

<sup>2</sup> Citado por G E.R. Lloyd, *Greek Science After Aristotle*, p. 21.

*Ideas and Opinions* (Londres: Alvin Redman, 1954), pp. 39-40.

George Meredith, um homem de letras do século XIX, foi o autor de alguns vividos e idiossincrásicos romances de costumes, como *The Egoist* e *The Ordeal of Richard Feverel*.

Para o cientista, entretanto, toda a natureza está inter-relacionada e, como tal, é ordenada. Em vez de ser um caos, o universo é um único e grandioso nexos de coisas e processos. Nenhum evento, sustenta ele, está totalmente separado de outros nem é, portanto, inexplicável. Uma investigação contínua acabará demonstrando que tudo o que parece desconexo somente ocorre em conjunção com outros eventos. Os chamados eventos caprichosos — ciclones, pragas, explosões de galáxias — são tão sistemáticos, nesse sentido, quanto a rotação dos planetas ou o amadurecimento do trigo.

Assim, a ordem da natureza é tudo o que permanece constante entre as mudanças de coisas e é a causa dessas mudanças. Essas características imutáveis da natureza são padrões fixos dos eventos em todos os níveis - desde os átomos às galáxias. A queda da maçã sobre a cabeça de Newton, nos jardins de sua família em Woolsthorpe, não podia, de fato, ser prevista. Entretanto, não aconteceu por acaso, porque obedeceu à mesma força gravitacional que mantém as estrelas em seus cursos e as marés em seus fluxos e refluxos.

A finalidade da Ciência é chegar a um entendimento exato e abrangente da ordem da natureza. Como os elementos constituintes da natureza são quase infinitamente diversos, essa busca já consumiu muitos séculos e consumirá muitos mais. Por conseguinte, a Ciência é intrinsecamente histórica. Não só o conhecimento científico mas também as técnicas pelas quais ele é produzido, as tradições de pesquisa que o produzem e as instituições que as apoiam, tudo isso muda em resposta a desenvolvimentos nelas e no mundo social e cultural a que pertencem. Se quisermos entender o que a Ciência realmente é, devemos considerá-la em primeiro lugar e acima de tudo como uma sucessão de movimentos dentro do movimento histórico mais amplo da própria civilização.

### **Outras Civilizações, Outras Ciências**

Eu disse uma "sucessão de movimentos" porque a História não revela uma Ciência mas numerosas ciências. Em todas as civilizações, certos homens meditaram sistematicamente acerca do mundo natural e procuraram as causas das mudanças fenomenais na própria natureza e não na vontade humana ou sobre-humana. Mas antes de os árabes herdarem a filosofia natural grega e a alquimia chinesa, e as transmitirem ao Ocidente, não existia um corpo singular de conhecimento natural que fosse transmitido de uma civilização a outra. Pelo contrário, em cada civilização o estudo da natureza tomava seu próprio caminho. Os filósofos naturais gregos e chineses explicaram o mesmo mundo físico de modos muito diferentes. Os gregos propuseram a teoria dos quatro elementos (terra, ar, fogo e água) e

a teoria de que tudo no universo tem seu lugar natural. Os chineses usaram a teoria das forças naturais opostas, *yin* e *yang*, e a teoria das cinco fases pelas quais todas as coisas passam em ciclos. Chamamos a essas diferentes tradições culturais "ciência", não porque formem uma entidade singular evoluindo historicamente, mas porque são diferentes entidades históricas da mesma espécie geral.

Mas este julgamento depende de uma percepção *a posteriori*. Na China, Grécia clássica, Islã e Europa medieval, não existia um termo equivalente ao nosso "ciência", nem existia uma comunidade científica. As atividades que agrupamos como ciência grega ou chinesa eram realizadas por filósofos, matemáticos, astrônomos, físicos e outros que alimentavam opiniões muito diferentes acerca da espécie de investigação que estavam empreendendo. Somos nós que vemos na obra deles as características de uma ciência que eles mesmos não poderiam reconhecer.

A mais recente dessas tradições científicas, a ocidental ou europeia, provou ser extraordinariamente bem-sucedida e a que mais se aproximou (pensamos nós) de representar o que a natureza realmente é. Enquanto as ciências anteriores estavam vinculadas a uma cultura, expressando-se na linguagem de um determinado povo, a ciência europeia tornou-se internacional e universal, pois se expressa na linguagem supracultural da Matemática e é praticada no mundo inteiro.<sup>6</sup> Não obstante, essa ciência não foi criada somente por europeus. Através de uma série de contatos — conquistas, comércio, diplomacia, viagens — os europeus captaram as realizações científicas e tecnológicas de outras civilizações. Dos gregos, eles herdaram a astronomia ptolomaica, a geometria euclídea, a medicina galênica, a tradição matemática de Platão e Pitágoras e a tradição mais empírica de Aristóteles. Da China provieram a física magnética, as coordenadas astronômicas, a idéia de espaço infinito, a cartografia quantitativa e um caudal de invenções tecnológicas, como a pólvora, o papel, os arreios para cavalo, a correia de transmissão e o leme de cadaste.<sup>7</sup> Da Índia vieram os numerais, o zero, a álgebra, a teoria do atomismo e a rica farmacologia das ervas e minerais.

A maioria dessas realizações foi absorvida primeiro pelo Islã, que desde 750 d.C. até finais da Idade Média se estendia da Espanha ao Turquestão. Os árabes unificaram esse vasto acervo de conhecimentos e aumentaram-no. Aperfeiçoaram a álgebra, inventaram a trigonometria e cons-

<sup>6</sup> Ver Joseph Needham, *The Grand Titration: Science and Society in East and West* (Toronto: University of Toronto Press, 1969), pp. 15-16, e, com a colaboração de Wang Ling, *Science and Civilisation in China*, vol. 3, *Mathematics and the Sciences of the Heavens and the Earth*. pp. 447-51.

<sup>7</sup> *The Grand Titration*. pp. 52, 58, 76.

truíram observatórios astronômicos. Foram os inventores das lentes e os fundadores do estudo da óptica, sustentando que os raios de luz jorram do objeto visto e não do olho. No século X, Ibn Al-Hazin descobriu uma série de leis da óptica, por exemplo, que um raio de luz adota o caminho mais rápido e mais fácil, precursora do princípio da "ação mínima" de Fermat.<sup>8</sup> Os árabes também ampliaram a alquimia, aperfeiçoaram e inventaram inúmeras técnicas e instrumentos, como o alambique, usado para destilar perfumes. No século VIII, o físico Al-Razi lançou os alicerces da Química, organizando os conhecimentos alquimistas e negando seu significado arcano. Inventor da classificação da natureza em três reinos — animal, vegetal e mineral — estabeleceu categorias para uma infinidade de substâncias e operações químicas, algumas das quais, como a destilação e a cristalização, continuam sendo usadas. Quando a ciência árabe declinou, das três grandes civilizações fronteiriças do Islã — China, Índia e Europa — foi esta última que herdou a sua grande síntese.

No ano 1000 d.C., a Europa estava tão atrasada que tinha de recorrer maciçamente às ciências islâmicas, traduzindo os escritos árabes para o latim. Por volta de 1600, a ciência européia não tinha rival. O que causou essa espetacular transformação? Por que a ciência moderna começou sua ascensão exponencial entre os Estados belicosos de uma Europa superpovoada e não em alguma civilização mais antiga e mais harmoniosa? Por que não na China, por exemplo?<sup>9</sup>

**A Ciência Chinesa** Conforme Joseph Needham mostrou,<sup>10</sup> durante os primeiros 15 séculos da era cristã a ciência chinesa não era inferior a nenhuma outra e a tecnologia chinesa era provavelmente superior a todas. Certas ciências - Astronomia, Matemática, Engenharia Hidráulica — eram sustentadas pela burocracia estatal, a qual estava imbuída dos ensinamentos do confucionismo. Esta filosofia estuda o homem como ser social e propõe princípios para a sábia administração da sociedade. Outras ciências — Alquimia, Biologia, Medicina (em certa medida), Física (exceto quanto aos sons musicais) e Geologia — permaneceram heterodoxas e foram praticadas predominantemente pelos taoístas, que estudavam a vida interior do homem e suas relações com a natureza. (O homem, diziam eles, deve renun-

No século XVI, Pierre de Fermat, um membro da Assembléia Provincial de Toulouse, propôs que as ações da natureza tomam sempre o mínimo tempo possível.

<sup>9</sup> Escolhi a China porque a Ciência e-la aí praticada há mais tempo e com mais êxito do que em qualquer outra civilização antiga. Não obstante, as mesmas questões poderiam ser formuladas a respeito de outras civilizações.

<sup>10</sup> Em *Science and Civilisation in China*, 4 vols.

ciar à ambição e viver de acordo com a ordem, ou *tao*, dos eventos naturais.) Os taoístas inspiraram a maior parte da ciência chinesa, mas não confiavam na razão e especulação, ao passo que os confucionistas só estavam interessados na Ciência para seus usos sociais. Por conseguinte, a ciência chinesa era propensa a evitar a teoria e manteve-se preponderantemente empírica.

Não obstante, esse empirismo estava longe de ser tosco e rudimentar. Os chineses observavam e registravam meticulosa e persistentemente. Os seus astrônomos assinalaram com exatidão as posições das estrelas e outros fenômenos celestes. Com efeito, suas listas de novas,<sup>11</sup> cometas e meteoros são hoje usadas por rádio-astrônomos. No século I a.C., seus engenheiros hidráulicos estavam registrando com precisão o conteúdo de lodo dos rios. Para melhorar a observação, os chineses inventaram instrumentos tais como o sismógrafo, o relógio mecânico e a bússola magnética. Eles classificaram numerosos fenômenos, como estrelas, doenças, ervas medicinais e minerais. Também realizaram experimentos; por exemplo, testaram as propriedades acústicas de sinos e cordas, e a resistência de diversos materiais.<sup>12</sup>

Que ciências se desenvolveram com esses métodos? Os chineses tinham álgebra mas pouca geometria. Devido a isso, a sua astronomia teórica não se desenvolveu. Ao contrário da geometria grega, que representou os movimentos dos corpos celestes em espaço tridimensional, as técnicas algébricas chinesas não subentendiam qualquer hipótese física particular. Por isso, a despeito de volumosos registros, careciam de uma teoria adequada do firmamento. Na física, eles tinham poucas noções de mecânica e nenhuma de dinâmica, mas foram pioneiros na ciência do magnetismo e realizaram um estudo exaustivo de sua própria música. Durante a Idade Média, seus mapas eram muito mais precisos do que os europeus. Na medicina, eles desenvolveram uma descrição abrangente das relações entre corpo, mente e meio ambiente. A alquimia chinesa, a mais antiga do mundo, procurou o elixir da longa vida, uma idéia que só viria a aparecer na Europa no século XII por intermédio do Islã.

Os chineses também tinham teorias, mas eram de caráter geral e qualitativo. De acordo com a teoria das "duas forças", as forças fundamentais no universo são *yin* (expressas, por exemplo, na chuva e na feminilidade) e *yang* (expressas no calor e na masculinidade). A teoria das

<sup>11</sup> Uma *nova* é uma estrela que aumenta sua luz e energia até um milhão de vezes em poucos dias e depois, passados alguns meses ou anos, retorna à sua anterior obscuridade. Uma grande nova pode emitir tanta energia quanto o Sol em 10.000 anos. De fato, se o Sol se tornasse uma nova, a Terra seria destruída em poucas horas ou dias. Nas últimas centenas de anos foram observadas umas 30

<sup>12</sup> Needham, *The Grand Titration*. pp. 46-50.

"cinco fases" procurou classificar os processos básicos em ação na natureza: a água, o fogo, a madeira, o metal e a terra. As fases substituem-se umas às outras em ciclos: a madeira suplanta a terra; o metal, a madeira; o fogo, o metal; a terra, a água; e depois os ciclos recomeçam. Os chineses correlacionaram essas fases com tudo o que existe no universo que pudesse ser classificado em grupos de cinco: gostos, cheiros, estações, pontos cardeais, notas musicais, planetas, climas etc. As correlações quádruplas revelam as afinidades mútuas entre coisas. Todas as coisas na mesma classe (por exemplo, leste, madeira, verde, vento, trigo) ressoam mutuamente, permutando energias. Nas palavras do filósofo Tung Chung-Shu, escrevendo no século II a.C.: "Se água for despejada em terreno nivelado, ela evitará as partes que estão secas e correrá para aquelas que estão úmidas. Se [duas] peças idênticas de lenha são expostas ao fogo, este evitará a úmida e inflamará a seca. Todas as coisas rejeitam o que é diferente [de si mesmas] e aderem ao que lhes é semelhante."<sup>13</sup>

Mas, duvidando da razão como duvidavam, os taoístas não desenvolveram essas teorias nem as fundiram numa descrição sistemática da natureza, comparável à de Aristóteles. Por conseguinte, a ciência chinesa permaneceu intelectualmente fragmentada, capaz de constante acumulação empírica em muitos campos mas incapaz de maior desenvolvimento teórico. Por exemplo, nenhuma das teorias que mencionamos estimulou um desenvolvimento semelhante ao da tradição do "impulso" em dinâmica. Aristóteles sustentara que um corpo em movimento forçado só continua movendo-se enquanto estiver em contato com aquilo que originalmente o impulsionou. Sendo assim, perguntaram-lhe, por que uma flecha continua voando durante algum tempo depois de ter sido disparada? A resposta, segundo ele, é que o ar deslocado pela flecha, logo que é disparada, precipita-se impetuosamente atrás dela e impulsiona-a. Mas, como objetou João Filopono de Alexandria no século VI de nossa era, não há qualquer razão para que o ar se desloque atrás da flecha e não em alguma outra direção. Escreveu ele:

Como se explica que o ar, impelido pela flecha, não se movimenta na direção do impulso imprimido mas, pelo contrário, descrevendo uma volta, como se obedecesse a alguma ordem, refaça o seu curso? Além disso, como se explica que esse ar, ao dar essa volta, não se dissemine no espaço mas, pelo contrário, incida precisamente na extremidade chanfrada da flecha e volte a impelir a flecha e adira a ela? Tal concepção é completamente implausível e parece mais ficção do que outra coisa.<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Citado por Needham, *Science and Civilisation in China*: vol. 2, *History of Scientific Thought*, p. 281.

<sup>14</sup> Citado por Lloyd, *Greek Science after Aristotle*, pp. 158-59.



A flecha, concluiu ele, continua voando porque uma força — mais tarde chamada "impulso" — lhe é transmitida pelo arqueiro e permanece nela depois que saiu do arco. Essa teoria do movimento de projétil foi depois desenvolvida por uma sucessão de filósofos islâmicos e medievais. A Ciência chinesa não tem um paralelo para essa teoria.

A atrasada Ciência europeia iniciou sua carreira meteórica com a descoberta de Galileu de que as hipóteses matemáticas, testadas por experimentos, podem fornecer um conhecimento preciso das operações da natureza. Essa abordagem, em conjunto com a teoria mecanicista (a doutrina segundo a qual todos os fenômenos naturais podem ser explicados em termos dos movimentos de partículas, sob a influência de forças), não tardou em colocar a ciência europeia bem na frente. Pois resultou que, ao contrário da hipótese dos taoístas, a ordem da natureza não era, afinal de contas, inescrutável. O que fica por explicar é por que os próprios chineses, em mais de um milênio de investigação, não conseguiram atinar com o método matemático-experimental nem descobrir a filosofia mecanicista.

Foram propostas várias respostas. Foi sugerido, por exemplo, que a gigantesca burocracia chinesa, com seus hábitos e atitudes confucionistas, frustrava a inovação científica. O concurso para o serviço civil estava aberto a todos e oferecia boas carreiras àqueles que sobrevivessem à intensa competição. Mas o exame de ingresso requeria somente o domínio dos clássicos e obras literárias confucionistas, de modo que não proporcionava incentivo nenhum ao estudo da ciência e tecnologia. Não obstante, embora a burocracia atuasse, indubitavelmente, como um freio à investigação teórica, ela estimulou a ciência aplicada e, pelo menos no domínio da astronomia, a observação sistemática. Foi responsável pela invenção do sismógrafo, a construção de medidores pluviométricos e de neve, e a organização de grandes expedições para fazer o levantamento do arco meridiano de 1.500 milhas (2.413,5km), da Indochina à Mongólia, e do mapa das estrelas do hemisfério sul desde Java. A Repartição Astronômica durou 2.000 anos sem qualquer mudança radical. As suas principais funções eram registrar todos os eventos celestes e prever o destino de governantes e Estados com base em prognósticos astrológicos. Essas providências asseguraram um fluxo contínuo de dados precisos, mas desencorajaram o pensamento original e o interesse por novos problemas.

Uma sugestão concomitante é que a burocracia chinesa minimizou a influência dos mercadores. Por mais de 2.000 anos, o serviço público atraiu os melhores cérebros do país. Era tamanho o seu prestígio que até os filhos de abastados comerciantes se batiam por ingressar nele. Entretanto, argumenta-se que uma florescente e próspera classe mercantil foi essencial à ascensão da ciência moderna na Europa. Os mercadores tinham interesse financeiro na invenção tecnológica; acreditavam na liberdade necessária ao debate científico; e, estando dispostos a trabalhar com as

próprias mãos, reconheceram a importância da experimentação. Esta argumentação é persuasiva, mas convém não a levar longe demais. Não se provou, por exemplo, que o avanço científico dependa de uma classe mercantil ter conquistado ou não o poder político.<sup>15</sup> Na Itália, por exemplo, os sistemas republicanos de governo, apoiados pelos mercadores, haviam cedido o lugar a governos concentrados nas mãos de um autocrata, ainda antes do nascimento de Galileu (1564). Na Inglaterra, por outro lado, a Revolução Científica começou antes da Guerra Civil (1642-1648) e antes de a restauração da monarquia (1688) pelo Parlamento ter consolidado a influência dos comerciantes.

Uma outra proposta é que os chineses careciam da idéia de um legislador divino, e por isso nunca se aperceberam de que a natureza tem leis.<sup>16</sup> Não há dúvida de que essa idéia propiciou autoconfiança à ciência européia. Se o universo foi planejado por Deus, então é compreensível e pode ser analisado como uma máquina, para ver como funciona. Ao revelar esse plano, a Ciência presta homenagem ao seu Criador. Entretanto, como Needham sublinha,<sup>17</sup> o cosmo chinês parece tão racional quanto o europeu. Possui a harmonia de um padrão, não de uma máquina. Essa harmonia não é imposta, mas decorre de uma necessidade interior. Todas as coisas na natureza cooperam espontaneamente porque lhes é intrínseco, como as partes de um padrão, fazer isso. Para os chineses, a ordem social e mundial não assentava na autoridade mas na interdependência. Nas palavras de um comentário sobre o *I Ching* (Livro das Mudanças): "Nunca se viu alguém comandando as quatro estações; entretanto, elas jamais se desviam de seu curso."<sup>18</sup>

Por sua vez, os europeus herdaram a união da astronomia observacional babilônica e da geometria grega na tradição de pesquisa de Ptolomeu. Receberam também a rica matemática islâmica, incluindo a álgebra, a qual foi essencial para a invenção do cálculo e a criação da mecânica newtoniana. A Astronomia Matemática, que foi a ponta de lança da Revolução Científica, era uma área fraca na ciência chinesa. Contudo, é certamente implausível pretender que a ciência moderna só poderia ter começado na

<sup>15</sup> A.C. Graham, "China, Europe and the Origins of Modern Science", em *Chinese Science: Explorations of an Ancient Tradition*, org. por Shigeru Nakayama e Nathan Sivin (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1973), pp. 54-55.

<sup>16</sup> Needham, *The Grand Titration*. Cap. 8.

<sup>17</sup> *Science and Civilisation in China: vol. 2. History of Scientific Thought*. pp. 287, 290, 562; ver também Graham, "China, Europe and the Origins of Modern Science", pp. 32-34, 58.

18

Citado por Needham, *Science and Civilisation in China: vol. 2, History of Scientific Thought*. pp. 287. 561.

Astronomia. Poder-se-ia argumentar igualmente que a ciência chinesa, através do estudo do magnetismo e da eletricidade, podia ter avançado até à Física do campo, de Faraday e Einstein, sem passar pela fase newtoniana. As leis desses fenômenos podiam ter sido enunciadas nos termos da matemática chinesa tradicional, e a geometria chinesa poderia ter sido refinada para tratar mais tarde da Astronomia.

Longe de ser predestinada, a ciência moderna parece ter surgido na Europa em virtude de uma combinação fortuita de condições históricas. A Renascença, por exemplo, promoveu o individualismo e o interesse por este mundo em vez do próximo. A Reforma e a Contra-Reforma debilitaram a autoridade da religião institucional e reduziram a oposição religiosa aos empreendimentos seculares. O capitalismo criou uma classe dotada de grande apetite por novos conhecimentos, de simpatia pela experimentação e de uma robusta crença na exploração da natureza. As viagens de descoberta dilataram o mundo conhecido e revelaram uma profusão de novos fenômenos. A noção de um legislador divino tornou a Ciência autoconfiante e respeitável, e o legado da astronomia ptolemaica e da matemática árabe forneceu os instrumentos conceptuais para um avanço importante e decisivo. Uma tradição nativa de experimentação foi iniciada com os artesãos e alquimistas da Idade Média, e ampliada depois pelas guerras do século XVI, as quais estimularam os homens instruídos a dominar as tecnologias da artilharia e fortificação. A diversidade da Europa, com seus numerosos povos, línguas e tradições, significou que um clima desfavorável à Ciência num país podia ser contrabalançado por um clima propício em outros países.

Mas, embora fossem suficientes para o nascimento da ciência moderna, essas condições não eram essenciais. A combinação de hipóteses matemáticas e testes experimentais requer conhecimento da Matemática e uma tradição experimentalista, o que é bastante para explicar por que a ciência moderna não nasceu na Nova Guiné. Mas onde estavam presentes, como na China, um desfecho semelhante poderia resultar de muitos e diferentes conjuntos de fatores. As explicações para o fracasso da China em criar uma ciência moderna não provam que exista um caminho único para essa ciência, mas apenas que a China não enveredou pelo caminho que adotamos. Daqui em diante, portanto, tomaremos a ciência ocidental como nosso paradigma, não porque seja a única ciência, mas porque foi a mais bem-sucedida.

### **Tradições de Pesquisa**

A Ciência tem por objetivo fornecer uma explicação completa para a ordem na natureza. A fim de realizar esse objetivo, ela propõe e comprova

as teorias que procuram explicar aspectos particulares dessa ordem. Uma teoria científica é um conjunto de enunciados que descrevem a natureza de uma entidade inobservada e (ou) o processo postulado como causa de certos fatos observados. Essa entidade, ou processo, é encarada como uma possível ordem oculta, ou "mecanismo", cuja existência pode ser verificada checando se os fatos ocorrem como a teoria previu. Quando a teoria foi plenamente confirmada, diz-se que a ordem que ela postula é real. Assim, os campos elétrico e magnético, as partículas elementares, os genes e a seleção natural, cuja existência foi outrora acirradamente contestada, são hoje considerados realmente presentes na natureza.

A maior parte das teorias são propostas no âmbito de uma tradição de pesquisa. As grandes teorias, de fato, criam tais tradições. Uma tradição de pesquisa é uma sucessão de investigações empreendidas por uma quantidade de cientistas, à sombra de um conjunto de pressupostos gerais. Esses pressupostos declaram quais são as entidades fundamentais num determinado domínio e como interatuam. De acordo com a tradição platônico-ptolemaica, por exemplo, os planetas são esferas perfeitas e movem-se em círculos em torno da Terra a velocidade constante. Segundo a tradição newtoniana, o mundo compõe-se de partículas infinitesimais que interatuam no espaço vazio, graças às forças de atração e repulsão. Uma tradição de pesquisa especificará frequentemente como os fenômenos pertinentes devem ser investigados e como as teorias devem ser construídas para explicá-los. Assim, na tradição ptolemaica, supunha-se que todos os fenômenos celestes seriam explicados pelo menor número possível de movimentos circulares. Na tradição newtoniana, as teorias acabaram sendo escritas na forma de equações diferenciais.

Uma tradição de pesquisa estimula a criação de uma série de teorias. Uma teoria explica o comportamento de certos fenômenos dentro do domínio postulando, pelo menos, alguns dos pressupostos da tradição e formulando novos pressupostos mais específicos que a própria teoria gerou. Veja-se, por exemplo, a tradição cinética do século XIX, uma ramificação da tradição newtoniana. Os cientistas da tradição cinética partiram do princípio de que o calor era causado por movimentos randômicos de moléculas, as quais constituem a matéria em todas as suas formas. As implicações dessa tese foram elaboradas no estudo de gases. Supunha-se que um gás é um aglomerado de partículas em constante movimento, governado pelas leis da mecânica newtoniana. Nos primeiros anos da tradição, as teorias foram apresentadas por August Krönig, Rudolf Clausius, James Clerk Maxwell e Ludwig Boltzmann.<sup>19</sup>

<sup>19</sup>

Ver Peter Clark, "Atomism versus Thermodynamics", em *Method and Appraisal in the Physical Sciences*, org. por Colin Howson, pp. 45-63.

Em 1856, Krönig, um físico pouco conhecido de Berlim, propôs que as moléculas de um gás são esferas elásticas e macias que se deslocam em linhas retas a uma velocidade constante. Baseado nestes simples pressupostos, ele formulou um certo número de deduções, incluindo a lei dos gases de Boyle-Charles ("a uma temperatura constante, o volume de um gás varia inversamente com a pressão") e a proposição de que os gases são aquecidos por compressão porque o movimento de êmbolo acelera as moléculas.

A teoria de Krönig foi um desafio a Clausius, co-descobridor da segunda lei da termodinâmica ("a entropia do mundo tende sempre a aumentar até o máximo"). Mais realista do que Krönig, propôs que as moléculas elásticas giram, vibram e colidem, deslocando-se em diferentes direções a diferentes velocidades. Não obstante, argumentou ele, quando um gás atinge um estado estacionário, existe uma velocidade média e um caminho livre médio (a distância que uma molécula percorre sem colidir com outra), tendo sido ambos calculados por Clausius.

As investigações de Clausius estimularam o físico escocês Maxwell a produzir uma melhor teoria baseada em estatísticas. Em aditamento aos pressupostos\* da tradição, Maxwell formulou três hipóteses próprias: primeiro, que as moléculas são esferas elásticas; segundo, que depois de uma colisão são igualmente prováveis todas as direções de refluxo; e, terceiro, que cada componente da velocidade de uma molécula é independente dos outros (a função de distribuição). Partindo destes pressupostos, ele deduziu o caminho livre médio de uma molécula, uma lei para a distribuição de velocidades entre moléculas, e a proposta de que as energias cinéticas das moléculas tendem a tornar-se iguais. Realizou depois algumas importantes previsões acerca das propriedades dos gases; por exemplo, que a viscosidade (ou fricção interna) de um gás é independente da densidade e varia com a raiz quadrada da temperatura.

Contudo, experimentos refutaram a segunda previsão e indicaram que a viscosidade varia com a temperatura como tal. Maxwell produziu então uma segunda teoria, na qual admitiu que as moléculas são centros de força em vez de esferas elásticas. Esse pressuposto implicava que a distância percorrida por duas moléculas a caminho de uma colisão varia com a velocidade delas e, por conseguinte, com a temperatura. (Se a temperatura aumenta, o caminho livre médio e a viscosidade também aumentam.) Maxwell também pressupôs que as velocidades de duas moléculas que colidem, e não as velocidades componentes de uma só molécula, é que são estatisticamente independentes. Ele deduziu então a função de distribuição que tinha sido previamente pressuposta, em conjunto com as principais propriedades de gases em equilíbrio, tal como o fato de que os volumes de dois gases em combinação mantêm uma relação numérica simples e integral entre si (lei de 1808 das combinações simples ou lei de Joseph Gay-Lussac).

Impressionado pelas técnicas estatísticas de Maxwell, o físico austríaco Boltzmann, no início de sua carreira, empenhou-se em ampliar algumas das deduções daquele. Abandonou o pressuposto de Maxwell de que as moléculas de gás colidem e admitiu simplesmente que existe uma quantidade fixa de energia a ser distribuída entre um número finito de moléculas, de tal modo que todas as combinações de energia são igualmente prováveis. Efetuou depois duas importantes deduções: uma versão ampliada da lei de Maxwell para a distribuição de velocidades, cobrindo moléculas poliatômicas sob a influência de forças, e uma equação geral para todas as formas de interação molecular.

Estes exemplos mostram como os cientistas trabalham a partir dos pressupostos de uma tradição para criar novas teorias.

Grande parte da história da Ciência ocidental consiste na formação, crescimento e declínio de tradições concorrentes e complementares de pesquisa. Desde os tempos helênicos até à Renascença, por exemplo, a tradição aristotélica em física e biologia, a tradição ptolemaica em astronomia e a tradição galénica em medicina complementaram-se mutuamente, em grande parte. No século XVIII, por outro lado, três tradições competiram pela supremacia nas ciências físicas: a cartesiana, a leibniziana e a newtoniana.<sup>20</sup> Descartes sustentou que o universo consiste em partículas sólidas interagindo por contato. Leibniz propôs que o universo é um campo de força, do qual os corpos materiais são manifestações intensivas. Entretanto, a tradição newtoniana foi, de longe, a mais bem sucedida, fornecendo alguns dos pressupostos básicos para virtualmente todas as pesquisas realizadas na física até o final do século XIX.

As tradições de pesquisa evoluíram em três caminhos principais: criando novas teorias, alterando seus pressupostos e unindo-se a outras tradições. Através da criação de teorias, uma tradição pode gerar uma surpreendente abundância de implicações. Veja-se o caso da tradição quântica. Ela originou-se nas tentativas de Albert Einstein e Max Planck para explicar a emissão e absorção de radiação pela matéria. Em 1913, Niels Bohr usou a noção planckiana de *quanta* (Capítulo 7) a fim de explicar as linhas espectrais (Capítulo 4) do átomo de hidrogênio. Em 1926, a tradição de Bohr, que se ligara a conceitos newtonianos e quânticos, era substituída pela madura tradição quântica baseada na equivalência matemática da mecânica ondulatória de Erwin Schrödinger e da mecânica de matrizes de Werner Heisenberg. Este sublinhou também que a posição e o momento de uma partícula subatômica não podem ser medidos simultaneamente com exatidão completa. A nova tradição pôde explicar todos

Ver Yehuda Elkana, "Newtonianism in the Eighteenth Century" (ensaio crítico), *British Journal for the Philosophy of Science* 22 (agosto de 1971): 297-306.

os fenômenos que tinham deixado perplexos os físicos newtonianos no começo do século (a radiação do corpo negro (Capítulo 7); o movimento browniano (Capítulo 1), o efeito fotoelétrico, a difração dos raios X, o efeito de Compton etc.<sup>21</sup>

A tradição quântica promoveu, pois, a pesquisa em duas direções. Por um lado, estimulou a solução de problemas cada vez mais complicados acerca de sólidos, líquidos e gases, tratados como estruturas de partículas dotadas de carga elétrica. Por outro, procurou descobrir os constituintes fundamentais da matéria, na forma de partículas cada vez mais elementares. Consideremos este segundo desenvolvimento.

Em 1928, Paul Dirac uniu a mecânica quântica e a relatividade especial na eletrodinâmica quântica, a primeira das teorias do campo quântico, em que as interações de partículas são explicadas pela permuta das próprias partículas. O aditamento da relatividade especial habilitou os cientistas a predizerem o comportamento de partículas com energias e velocidades elevadas. No começo da década de 1930 foram descobertos o pósitron, o nêutron e o neutrino; e em 1935 Hideki Yukawa previu a existência dos mésons. Durante a II Guerra Mundial, foram aperfeiçoados os aceleradores de partículas e as técnicas fotográficas. Em consequência disso, em finais da década de 1950 já eram conhecidas cerca de trinta partículas. Os físicos ainda esperavam que as interações delas pudessem ser explicadas por uma versão revista da teoria quântica do campo. Pouco antes de 1960, entretanto, entraram em ação os grandes aceleradores e, em poucos anos, mais de 200 partículas tinham sido descobertas. (Durante certo tempo, todas as semanas apareciam novas partículas!) Fizeram-se tentativas para classificá-las, notadamente por Murray Gell-Mann e Yuval Ne'eman. Proliferaram as teorias mas acabaram por dividir-se em duas classes principais: "fundamentalistas" e "liberais". As primeiras, variantes

<sup>21</sup> O efeito fotoelétrico — a emissão de elétrons por superfícies metálicas quando atingidas por luz — foi explicado por Einstein em 1905 no pressuposto de que a luz é particulada. Os fótons incidentes de luz, disse ele, desalojam os elétrons em virtude do impacto. *Difração do raio X*: Quando os raios X são dirigidos para um cristal, eles alternadamente se reforçam e cancelam uns aos outros (como ondas de encontro a um obstáculo), produzindo faixas paralelas de luz e escuro. Em 1912, num célebre experimento, o físico alemão Max von Laue dirigiu um feixe de raios X para um cristal de sulfureto de zinco. Ele mostrou que os raios X são ondas e que os átomos de um cristal estão dispostos regularmente em treliças, as quais são responsáveis pelo padrão de interferência. *Efeito de Compton*: Quando os raios X, e outras fortes radiações eletromagnéticas, são disseminados por elétrons, seu comprimento de onda aumenta. Em 1922, o físico americano Arthur Holly Compton propôs que isso ocorre porque os raios X são constituídos de fótons. Quando os fótons que chegam colidem com os elétrons, são produzidos novos fótons de menor energia e maior comprimento de onda, os quais se disseminam em ângulos que variam com o montante de energia perdida pelos elétrons retrocedentes.

da abordagem do campo quântico, foram as mais comuns. Afirmam que todas as partículas são constituídas a partir de uma ou poucas partículas básicas, como os *quarks* de Gell-Mann. As teorias liberais, por outro lado, afirmam que todas as partículas são igualmente fundamentais e feitas umas das outras: a chamada "democracia nuclear". A mais bem sucedida delas é a teoria da matriz de dispersão (*S-matrix theory*), proposta na década de 1950 por Geoffrey Chew, aproveitando uma sugestão anterior de Heisenberg.

Que extraordinário progresso! Quem poderia prever em 1917 que, num prazo de dez anos, a teoria quântica teria explicado questões tão diversas quanto a estrutura de uma peça de metal, o comportamento dos elétrons e a extensão em que o mundo podia ser realmente medido? Ainda menos, quem poderia prever seu decisivo e fundamental avanço conceptual, a expressão matemática da idéia revolucionária de que os constituintes microscópicos do mundo têm uma natureza dual de onda-partícula? No entanto, em 1926, quem poderia também prever que, 30 anos depois, os físicos quânticos estariam procurando uma teoria para explicar as quatro forças do universo (gravitacional, fraca, eletromagnética, forte) através das quais todas as partículas interatuam?<sup>22</sup>

Uma tradição de pesquisa pode igualmente desenvolver-se mudando seus pressupostos, como aconteceu com a tradição mendeliana na genética. Essa tradição foi fundada em 1903-4 pelo americano Walter Sutton e o alemão Theodor Boveri; eles propuseram que os padrões de herança descritos por Mendel resultam da transmissão de unidades de hereditariedade ("genes") localizadas nos cromossomos ou sobre estes. Esses padrões devem ser investigados, disseram eles, através da reprodução artificial. Nas décadas de 1910 e 1920, Thomas Hunt Morgan e seus colaboradores, usando a mosca drosófila (*drosophila melanogaster*), mostraram que os genes estão, de fato, "nos" cromossomos. Depois, na década de-1950, graças ao desenvolvimento da bioquímica e à invenção de técnicas genéticas mais refinadas, tornou-se possível estudar padrões de herança em microrganismos como os bacteriófagos (vírus que contaminam as bactérias). A genética clássica converteu-se agora em genética da transmissão. Os pressupostos da tradição foram reformulados de modo a aplicarem-se a fenômenos moleculares, como a perda de atividade enzimática. A noção

22

A gravidade e a mais fraca dessas forças. A própria força fraca, que é observada na deterioração radioativa dos núcleos atômicos, é um bilhão de vezes menos intensa do que a força eletromagnética, a qual vincula elétrons aos núcleos em átomos e moléculas. A força forte, que aglutina prótons e nêutrons no núcleo, é mais de 100 vezes mais forte do que a força eletromagnética e só atua em distâncias até um *fermi* (um milionésimo de um milímetro). Sobre a teoria quântica do campo, ver Steven Weinberg, "The Search for Unity: Notes for a History of Quantum Field Theory", *Daedalus* 196 (outono de 1977): 17-36.



de gene também foi redefinida. O gene clássico ocupava um *locus* definido no cromossomo. Na genética da transmissão, por outro lado, o gene inclui todas aquelas unidades, onde quer que estejam localizadas, que atuam como partes de um só gene. A genética da transmissão também introduziu novos tipos de genes, como o regulador e o repressor. Finalmente, foi refutada a lei mendeliana da segregação, segundo a qual, no heterozigoto, os alelos dentro do mesmo gene não se misturam. Na genética da transmissão, unidades tão pequenas quanto os nucleotídeos atuam como alelos e podem recombinar-se num único gene.<sup>23</sup>

Como exemplo de desenvolvimento através da unificação, consideremos a união da evolução darwiniana com a genética mendeliana na teoria sintética da evolução. Darwin sustentou sua teoria com base em fatos bem conhecidos na época: a tendência dos organismos a superproduzirem, a tendência das populações de organismos permanecerem constantes e a tendência dos indivíduos a variarem. Ele assinalou que, como todas as espécies tendem a superproduzir e, no entanto, suas quantidades permanecem constantes, deve existir uma luta pela existência. Assim, concluiu ele, como as espécies exibem variação individual, algumas variantes devem sobreviver e perpetuar-se, enquanto outras são eliminadas. Em suma, os mais aptos sobrevivem.

A teoria de Darwin empolgou a paleontologia, anatomia e embriologia, mas foi criticada por outros biólogos por ter sido incapaz de explicar a fonte da variação individual. Entretanto, quando Darwin publicou *A Origem das Espécies*, Gregor Mendel estava realizando experimentos com ervilhas das hortas no mosteiro agostiniano de Brunn, na Áustria.\* As leis da hereditariedade que ele derivou desses experimentos foram ignoradas até 1900, quando foram independentemente redescobertas por três biólogos. Entretanto, os primeiros mendelianos consideraram as mudanças genéticas nos indivíduos como a principal causa da evolução e relegaram a seleção natural para o papel secundário de eliminação daquelas formas que não lograram mudar. Somente na década de 1930 os evolucionistas viram na genética de populações uma explicação viável da mudança evolucionária. Ronald A. Fisher e John Burdon S. Haldane, na Inglaterra, e Sewall Wright, nos Estados Unidos, elaboraram uma teoria matemática da genética de populações relacionada com a evolução. Assim, a moderna teoria da evolução é uma síntese da seleção natural e da genética de populações, e afirma que a evolução consiste em mudanças no *pool* gené-

23

Um alelo é um ou outro de um par de caracteres mendelianos alternativos, como a estatura elevada ou baixa do caule de uma planta de ervilha. Um heterozigoto é um animal ou planta com dois diferentes alelos para um traço específico, por exemplo, um para a estatura elevada e um para a estatura baixa.

Atualmente Brno, capital da província da Morávia, na Tchecoslováquia. IN. do T.)

tico de uma população. O *pool* genético (a totalidade de genes numa população) é alterado principalmente por mutação. Onde, para Darwin, a seleção natural tinha sido sobrevivência diferencial, para a teoria sintética é reprodução diferencial. A seleção natural subentende que os genes que aumentam o êxito reprodutivo dos indivíduos que deles são portadores serão transmitidos mais freqüentemente à geração seguinte do que os seus alternativos. Em relativamente poucas gerações, esses genes espalhar-se-ão por toda a população. A seleção natural foi comparada a uma peneira que retém o mutante útil que raramente ocorre e deixa passar os mais comuns e nocivos. Mas a seleção natural faz mais do que isso. Também atua criativamente ao multiplicar as combinações adaptativas de genes que não se teriam multiplicado de outra forma.

### Historicidade e o Cientista

A Ciência é histórica no sentido de que é uma atividade, uma instituição e um corpo de conhecimentos que mudam no tempo em função da busca de uma completa explicação da ordem da natureza. Considerarei este processo em termos da evolução das tradições de pesquisa. Vejamo-lo agora do ponto de vista do cientista individual.

O cientista pode refinar os conhecimentos existentes ou produzir conhecimentos fundamentalmente novos. Ele refina os conhecimentos tornando-os mais precisos e mais certos. Um modo de atingir essa precisão é medir as propriedades de fenômenos mais meticulosamente, sobretudo se uma nova técnica experimental] possibilitar um teste mais rigoroso. Por exemplo, a proporcionalidade da massa inercial e gravitacional<sup>24</sup> foi medida em experimentos cada vez mais precisos por Isaac Newton (1686), Friedrich Bessel (1823), Roland von Eötvös (1922) e Robert Dicke (1964) — por Dicke até uma precisão de  $10^{-11}$ .<sup>25</sup> Um outro método consiste em elucidar e reformular conceitos e enunciados, expressando-os freqüentemente em termos matemáticos. Durante o século XVIII e começos do século XIX, por exemplo, várias gerações de eminentes matemáticos europeus — Daniel, Jakob e Johann Bernoulli,\* Jean d'Alembert, Leonhard

24

A massa inercial é a medida da resistência de um corpo a ser acelerado. A massa gravitacional é a medida da força de atração exercida pelo corpo ou sobre ele.

25

Os físicos usam freqüentemente potências de 10 como um encurtamento conveniente de números muito grandes ou muito pequenos; 1.000, por exemplo, converte-se em  $10^3$  e um milionésimo torna-se  $10^{-6}$ .

\* Jakob e Johann Bernoulli eram irmãos, naturais de Basileia (Suíça). Jakob desenvolveu o cálculo infinitesimal e criou o cálculo exponencial. Daniel, natural de

Euler, Joseph Lagrange, William Rowan Hamilton - reformularam e ampliaram a mecânica de Newton, tornando-a mais simples e mais clara.

O cientista busca a certeza, aceitando apenas aquelas hipóteses que foram testadas o mais rigorosamente possível.<sup>26</sup> Essa atitude é exemplificada pela resposta de cientistas à teoria geral da relatividade de Einstein (proposta em 1915). Durante cerca de 50 anos, a relatividade geral foi largamente ignorada, com base em que, matematicamente, era por demais complicada, não podia ser testada em laboratório e era incompatível com a mecânica quântica. Somente uns poucos investigadores, dedicando suas carreiras à teoria, esclareceram as suas extraordinárias conseqüências, a maioria das quais Einstein nunca conheceu. Uma dessas conseqüências é que muitas estrelas gigantesas estão destinadas a entrar em colapso gravitacional sob o peso de sua massa e a "desaparecer", deixando em seu lugar "buracos negros" dos quais nada, nem mesmo a luz, pode escapar. Outra conseqüência é que o universo contém singularidades, lugares onde o espaço-tempo começa ou termina e as leis conhecidas da física entram em colapso, como no interior dos buracos negros e no nascimento do universo.

Depois, na década de 1960, ocorreu uma série de espetaculares descobertas no espaço: a explosão de galáxias, quasares, radiação micronebulosa cósmica proveniente da Grande Explosão,\* pulsares e fontes compactas de raios X. (Os quasares são objetos celestes quase-estelares que devem exceder a luminosidade de galáxias inteiras se estiverem tão distantes quanto sugere o deslocamento para o vermelho de seus espectros; as pulsares\*\*são destroços ou remanescentes de explosões de supernovas, os quais emitem pulsações muito rápidas e, segundo se pensa, seriam estrelas de nêutrons ultradensos; as fontes compactas de raios X podem ser estrelas de nêutrons ou então buracos negros ainda mais densos.) Simultaneamente, uma série de novas técnicas foram inventadas para testar as teorias gravitacionais: radar dirigido para planetas e satélites, feixes de raios *laser* apontados para a Lua, relógios atômicos e moleculares, gravímetros, interferômetros de longa base, e muitas outras.<sup>27</sup> Como resultado de todos

Groningen, era filho de Johann e foi um dos pioneiros da hidrodinâmica e da teoria cinética do gás. (N. do T.)

Ver Gary Gutting, "A Defense of the Logic of Discovery", *Philosophic Fórum* 4 (primavera de 1973): 393-94. Contudo, certeza e precisão não podem ser atingidas absolutamente mas apenas aumentadas.

\* A teoria cosmológica da Grande Explosão (*Big Bang Theory*) sustenta que a expansão do universo se iniciou com uma gigantesca explosão. (N. do T.)

\*\* Abreviatura de *pulsating radio stars*. (N. do T.)

27

O *deslocamento para o vermelho* consiste no desvio de luz proveniente de estrelas e outros objetos celestes para a extremidade vermelha do espectro. O deslocamento, que corresponde a um aumento do comprimento de onda, é proporcional à velocidade a que os objetos estão se distanciando da Terra. O deslocamento para o vermelho

esses progressos — novas observações, novos instrumentos — a teoria da gravitação e a astrofísica são atualmente os campos mais excitantes da física. Existe um "boom" na relatividade geral. Os teóricos estão derivando dela novos teoremas, e os experimentadores estão inventando testes após testes para decidir entre a teoria e suas muitas concorrentes.<sup>28</sup>

O cientista produz fundamentalmente novos conhecimentos propondo teorias que são mais amplas, mais profundas e mais simples do que as suas predecessoras. Uma teoria é mais ampla quando explica uma maior gama de fenômenos do que a sua rival. A amplitude é obtida, por vezes, pela combinação de duas teorias ou dois conjuntos de leis existentes numa teoria mais abrangente, tal como Newton combinou as leis de Kepler e de Galileu, entre outras, e Maxwell integrou as ciências da óptica e do eletromagnetismo. Ou pode ser conseguida explicando fatos num vasto leque de campos, tal como Darwin explicou os dados por meio das ciências da vida e da Terra.

- Uma teoria é mais profunda quando propõe um mecanismo para explicar o mecanismo postulado pela teoria que substitui. Veja-se o contraste entre a teoria da gravitação de Einstein e a de Newton. Esta última afirma que a gravitação é uma atração instantânea entre corpos no espaço absoluto, sem influência alguma da matéria. Einstein explica esse mecanismo propondo que o espaço é encurvado por matéria e que a curvatura resultante desvia os corpos de seus trajetos, na direção de corpos mais maciços do que eles próprios. Ou contraste-se a evolução darwiniana com a teoria sintética. Darwin explica a evolução das espécies como sendo devida à ação da seleção natural sobre a variação espontânea. Mas a teoria sintética vai mais além, porque explica a própria variação como um resultado da mutação de genes e cromossomos. Cito o dístico de Schiller, de que Niels Bohr gostava tanto:

Nur die Fülle führt zu Klarheit.  
Und im Abgrund wohnt die Wahrheit.

é a prova mais impressionante de que o universo está em expansão. Muito mais brilhante do que uma nova, uma *supernova* fragmenta-se e não retorna ao seu estado anterior. Acredita-se que se converte numa estrela de nêutron (uma estrela em colapso gravitacional dotada de terrível densidade), assim chamada porque sob pressão e temperatura extremas os seus elétrons e prótons fundem-se em nêutrons. Um *gravímetro* é um instrumento para medir variações no campo gravitacional da Terra. Um *interferômetro de longa base* é um rádio-telescópio com antenas separadas — recebendo ondas de rádio da mesma fonte — colocadas a milhares de quilômetros de distância uma da outra e conectadas a um único receptor.

28

Ver Clifford M. Will, "Gravitation Theory", *Scientific American* 231 (novembro de 1974): 25-33.

"Somente a plenitude conduz à clareza, e a verdade habita as profundezas".<sup>29</sup>

Finalmente, uma teoria é mais simples do que uma rival quando tem menos premissas relativas ao número de conseqüências deduzidas delas. A teoria da relatividade especial é particularmente simples e arrojada, baseando-se em dois princípios gerais: luz e relatividade. O primeiro afirma que a velocidade da luz é constante, o segundo que as leis da natureza são as mesmas em todos os quadros de referência, deslocando-se uniformemente em suas relações recíprocas.<sup>30</sup>

**O Avanço Através dos Problemas** A Ciência também é inerentemente histórica na medida em que tende a ser cumulativa. Toda investigação é uma tentativa para resolver um problema decorrente da solução de um problema anterior. Se for bem sucedida, descobre um ou mais novos problemas a serem investigados por pesquisas. O problema resolvido é um elo na cadeia de problemas e suas soluções, através dos quais a Ciência avança. De um modo geral, uma nova teoria é uma fonte muito fecunda de problemas, através das predições que gera.

Os problemas podem ser empíricos ou teóricos.<sup>31</sup> Um excelente exemplo dos primeiros é o problema do movimento browniano. A movimentação randômica de minúsculas partículas suspensas num fluido em equilíbrio térmico foi examinada originalmente pelo botânico escocês Robert Brown em 1827. Durante o resto do século, os cientistas debateram se isso era um problema sério ou mesmo genuíno, e a quem cabia resolvê-lo. Nas décadas de 1830 e 1840, por exemplo, foi alternadamente considerado um problema biológico (sendo as partículas, talvez, "animálculos"), um problema químico, um problema de polarização óptica, de condutividade elétrica, de teoria calórica, um desinteressante problema mecânico e um não-problema. Em fins do século, foi reconhecido como uma séria anomalia para as leis da termodinâmica e a tradição de pesquisa termodinâmica. Finalmente, foi resolvido por Einstein e Jean Perrin, numa impressionante volta à tradição cinética.<sup>32</sup>

<sup>29</sup>

Dos Sonetos a Confúcio. Citado por David Park, "Time and Form in Physical World", *Boston University Journal* 24 (1976): 32.

<sup>30</sup> Um quadro de referência também é conhecido como um sistema de coordenadas. A posição de um objeto no espaço é usualmente plotada com a ajuda de três coordenadas, as quais são medidas a partir da localização de um observador. Einstein adicionou uma quarta coordenada — o tempo — e manteve que espaço e tempo são relativos ao observador. Para Einstein, portanto, todos os sistemas de coordenadas são igualmente válidos, e as leis da natureza devem adotar a mesma forma em todos eles.

<sup>31</sup> Ver Larry Landau, *Progress and Its Problems*, Capítulos 1 e 2.

<sup>32</sup> *Ibid.*, pp. 19-20.

Os problemas teóricos podem ser interiores ou exteriores a uma teoria. Por exemplo, a mecânica quântica, apesar de uma grande profusão de previsões bem sucedidas, é flagelada por problemas básicos. Um destes é o intrigante fato de que, sob certas condições, como uma interferência e difração,<sup>33</sup> a radiação comporta-se como um processo ondulatório governado pelas equações de Maxwell do campo eletromagnético, e em outras circunstâncias, como no caso do efeito fotoelétrico e da dispersão de Compton, ela comporta-se como um feixe de partículas, *quanta* de energia chamados fótons. A teoria pode prever o desfecho em ambos os conjuntos de condições mas não pode explicá-lo. A perplexidade dos físicos diante desse misterioso dualismo foi bem expressa por Sir William Bragg em seu famoso comentário: "Usamos a teoria clássica às segundas, quartas e sextas, e a teoria quântica às terças, quintas e sábados".

Um exemplo de um problema externo é o conflito entre a teoria ptolomaica e o princípio platônico de movimento celestial que a teoria afirmava respeitar. Tal como a mecânica quântica, a teoria ptolomaica foi imensamente bem sucedida, no plano empírico. Mas, para conseguir esse êxito, teve que violar o princípio do movimento circular perfeito, pressupondo, por exemplo, que certos planetas gravitam em torno de pontos vazios no espaço, que os planetas nem sempre se movem a uma velocidade constante etc. A desarmonia conceptual foi o principal defeito que Copérnico encontrou na teoria.

O cientista deve enfrentar um problema com os dados e as técnicas à sua disposição, e é muito possível que eles sejam inadequados. Entretanto, soluções parciais conduzem a soluções melhores. A teoria de Bohr sobre o átomo de hidrogênio foi um meio-termo inconsistente entre a física clássica e a quântica,<sup>34</sup> mas estimulou hipóteses e desenvolveu fatos que culminaram na teoria quântica bem mais madura de meados da década de 1920. Na mesma ordem de idéias, um cientista que formula e resolve um importante problema que não é reconhecido na época poderá muito bem ter sua obra ignorada ou depreciada. A explicação de Daniel Bernoulli quanto à pressão do gás foi precursora da teoria cinética dos gases em cerca de um século. A hipótese de William Prout de que os pesos atômicos dos

33

A *interferência* é um fenômeno ondulatório; quando dois feixes de luz oriundos da mesma fonte se encontram, suas ondas ora se neutralizam ora se apoiam mutuamente, produzindo faixas ou franjas alternadas de luz e escuro. *Difração*: um padrão de interferência que ocorre quando a luz passa pela borda de um corpo opaco ou através de uma fenda estreita, ou quando é refletida de uma superfície regular.

34

Bohr explicou o movimento intra-orbital do elétron em torno do núcleo atômico por meio das equações de Maxwell, as quais se aplicam ao movimento contínuo. Ele explicou o movimento do elétron de uma órbita para uma outra (os seus "saltos") por meio da teoria quântica de Planck, a qual se aplica ao movimento descontínuo.

elementos são múltiplos do peso do átomo de hidrogênio encontrou a resistência da maioria dos químicos, até sua corroboração um século depois por Ernest Rutherford e Frederick Soddy, usando novas técnicas experimentais. O ensaio de Mendel sobre as leis da genética ficou enterrado numa revista obscura durante 34 anos, antes de ser redescoberto. A hipótese de Alfred Wegener sobre a deriva dos continentes foi veementemente rejeitada por meio século, até surgirem provas favoráveis em virtude das novas ciências do magnetismo das rochas e da Oceanografia.

### **Outros Aspectos da Historicidade**

**História e Corrigibilidade** A Ciência também é histórica na medida em que todo e qualquer enunciado ou conjunto de enunciados científicos está aberto a revisão ou substituição, à luz de novas provas ou novas idéias. Algumas teorias — por exemplo, a teoria eletromagnética de Maxwell — consolidaram-se ao longo de um extenso período de testes e refinamentos, e a maioria dos cientistas bater-se-ia denodadamente para retê-las. Não obstante, mesmo essas serão abandonadas se forem decisivamente refutadas e se existirem teorias alternativas que prometam explicar os fatos mais satisfatoriamente. Como todas as conclusões científicas são, em última instância, conjecturais, a Ciência pode sempre criticar-se e transformar-se. Se a mecânica newtoniana não tivesse sido considerada fundamentalmente substituível, a teoria da relatividade e a mecânica quântica não teriam sido inventadas para substituí-la. (Ainda se sustenta que a teoria de Newton descreve corretamente os movimentos de corpos macroscópicos a velocidades consideravelmente inferiores à da luz.) Como a Ciência é conjectural, ela pode ser revolucionária.

**Objetividade** À medida que a Ciência foi crescendo, tornou-se cada vez menos antropomórfica e mais objetiva. Isto devia ser esperado, como acentua Nicholas Maxwell,<sup>35</sup> pois, se o universo é inteligível, o é potencialmente para todas as pessoas e não apenas para aquelas que possuem certos órgãos sensoriais e provêm de certas culturas. Quanto mais simples e graciosamente as nossas teorias explicarem a ordem natural, mais vasta será a esfera de seres humanos para quem elas deverão ser inteligíveis. Essa tendência para a objetividade pode ser vista na negativa de Copérnico de

<sup>35</sup> "The Rationality of Scientific Discovery", Parte II: "An Aim-Oriented Theory of Scientific Discovery", pp. 270-71.

que a Terra é o centro do universo, e na exigência seiscentista de explicações em termos de qualidades primárias (sendo as qualidades secundárias importantes apenas para os seres humanos, com seus órgãos sensoriais e sistema nervoso especiais). Também pode ser apreciada no princípio de Galileu de que o movimento uniforme, não-acelerado, ocorre em relação ao observador, um princípio que refuta a idéia aristotélica mais estreita de que a Terra está em repouso absoluto e, portanto, é um quadro de referência privilegiado a partir do qual todos os movimentos, em qualquer parte, podem ser minuciosamente observados. É novamente visível no mais amplo princípio da relatividade de Einstein. Esse princípio sustenta, contra Newton, que não existem conjuntos especiais de quadros de referência para formular as leis da natureza.<sup>36</sup> e que as leis, portanto, devem receber a mesma forma em todos os quadros de referência, isto é, para todos os observadores em posições arbitrárias e movimento relativo.

Explicação O que devemos concluir acerca do mundo, a partir do nosso estudo do avanço da Ciência? Quanto mais entendemos o mundo, mais estranho e também mais simples ele nos parece. Ao explicarmos o mundo, não o tornamos mais familiar, pois o familiar é o antropomórfico e o social e culturalmente específico. Como Niels Bohr observou argutamente:<sup>37</sup> "Se um homem não se sente estonteado quando trava conhecimento pela primeira vez com o *quantum* de ação, ele não entendeu uma palavra." Por conseguinte, devemos rejeitar a idéia de que, quanto mais a Ciência cresce, menos ela explica, com suas teorias servindo apenas para melhorar os instrumentos de previsão de fenômenos. Pelo contrário, quanto mais bizarro e simples a Ciência revela ser o mundo, melhor ela explica o mundo. Por exemplo, o que poderia ser mais bizarro e, ao mesmo tempo, mais simples do que um buraco negro — uma estrela gigantesca que se condensou a ponto de a sua enorme gravidade não permitir que nem mesmo a luz escape dela. com o resultado de que essa estrela é invisível? O físico John Archibald Wheeler sublinhou bem esse ponto. Disse ele: "O universo é muito mais estranho e mais belo do que nos apercebemos, e também

De acordo com a primeira lei de Newton, um corpo livre de forças externas não deve experienciar aceleração alguma. Portanto, deve existir um observador para quem esta afirmação é verdadeira. Logo, há um conjunto de quadros de referência ("quadros inerciais") a partir dos quais o movimento de um corpo livre de forças será observado como um movimento não-acelerado.

<sup>37</sup> Citado por C. F. von Weizsäcker, "The Copenhagen Interpretation", em *Quantum Theory and Beyond: Essays and Discussions Arising from a Colloquium*, org. por Ted Bastin (Cambridge: Cambridge University Press, 1971), p. 26.



muito mais simples. Mas não temos esperança de descortinar até que ponto ele é simples, enquanto não reconhecermos quão estranho ele é."<sup>38</sup>

### Resumo

A Ciência é intrinsecamente histórica. Em virtude das limitações da mente humana, a missão científica — dar uma explicação completa para a ordem natural — levará muitos séculos e, de fato, talvez nunca venha a ser cumprida. Em todas as civilizações, alguns homens procuraram explicar essa ordem em termos naturalistas. Não obstante, até aos tempos modernos, eles não se consideravam cientistas ou contribuintes para uma tradição supracultural. O conhecimento natural era difundido mais por acidente do que por desígnio. Por isso vemos, no passado, numerosos empreendimentos científicos. Cada um deles evoluindo numa civilização diferente, em vez de um único movimento histórico em que todas as civilizações participassem. Ao longo de um milênio, os chineses, em especial, construíram um vasto corpo de conhecimento empírico. Se as circunstâncias tivessem sido diferentes, eles poderiam ter chegado a um moderno enfoque teórico de campo para a natureza. Em vez disso, a ciência moderna — matemática, experimental — se desenvolveu na Europa seiscentista por intermédio da Mecânica.

A Ciência cresce predominantemente através da evolução de tradições de pesquisa. Elas guiam a pesquisa indicando a natureza e as interações das entidades fundamentais num determinado domínio. As tradições de pesquisa desenvolvem-se de três formas principais: criando novas teorias, mudando seus pressupostos e unindo-se a outras tradições. Dentro das tradições e, por vezes, fora delas, os cientistas refinam os conhecimentos, tornando-os mais precisos e certos. Também produzem fundamentalmente novos conhecimentos propondo teorias que são mais amplas, mais profundas e, às vezes, mais simples do que as suas predecessoras.

Ao nível do indivíduo e da tradição de pesquisa, a Ciência avança resolvendo problemas, empíricos ou teóricos. Como as suas soluções são conjecturais, podem ser sempre reconsideradas e substituídas por novas. Assim, a Ciência está comprometida com a autocrítica e a possibilidade permanente de continuar crescendo. À medida que a Ciência se desenvolve, ela tende a tornar-se menos antropomórfica e mais objetiva, e a revelar uma ordem na natureza que é simultaneamente mais estranha e mais simples do que se supunha.

Até aqui, parti do pressuposto de que, no transcorrer dos séculos, a Ciência avançou e ficou cada vez mais próxima da verdade da natureza. Mas

<sup>38</sup> Citado por Maxwell, "The Rationality of Scientific Discovery", Parte II, p. 271.

esse pressuposto tem sido contestado, e no próximo capítulo considerarei se ainda temos direito a formulá-lo. Também indagarei se existe a probabilidade de que a Ciência continue crescendo indefinidamente.