

um espectro molecular? Podemos supor que ambos fa-  
 lavam da mesma partícula, mas a encaravam a partir  
 de suas respectivas formações e práticas de pesquisa.  
 Suas experiências na resolução de problemas indica-  
 ram-lhes o que uma molécula deve ser. Sem dúvida  
 alguma suas experiências tinham muito em comum,  
 mas neste caso não indicaram o mesmo resultado aos  
 dois especialistas. Na medida em que avançamos na  
 nossa análise, veremos quão cheias de conseqüências  
 podem ser as diferenças de paradigma dessa natureza.

7. O investigador era James K. SENIOR, com quem estou em dívida  
 por um relatório verbal. Alguns temas relacionados são examinados no  
 meu trabalho, *The Verisacul of the Laboratory, Philosophy of Science*,  
 XXV, pp. 163-168 (1958).

(2)

*Wah in TS. A. Verisacul de  
 Seniors: Verisacul, 1991.*

5. A ANOMALIA E A EMERGENCIA DAS  
<sup>o sistema</sup> ~~DESCOBERTAS~~ CIENTÍFICAS

A ciência normal, atividade que consiste em so-  
 lucionar ~~quebra-cabeças~~, <sup>o sistema</sup> ~~é um empreendimento~~ alta-  
 mente cumulativo, extremamente bem sucedido no que  
 toca ao seu objetivo, a ampliação contínua do alcance  
e da precisão do conhecimento científico. Em todos  
 esses aspectos, ela se adequa com grande precisão à  
 imagem habitual do trabalho científico. Contudo, falta  
 aqui um produto comum do empreendimento científi-  
 co. A ciência normal não se propõe descobrir novida-  
 des no terreno dos fatos ou da teoria; quando é bem  
 sucedida, não as encontra. Entretanto, fenômenos no-  
 vos e insuspeitados são periodicamente descobertos pe-

a pesquisa científica; cientistas têm constantemente inventado teorias radicalmente novas. O exame histórico nos sugere que o empreendimento científico desenvolveu uma técnica particularmente eficiente na produção de surpresas dessa natureza. Se queremos conciliar essa característica da ciência normal com o que afirmamos anteriormente, é preciso que a pesquisa orientada por um paradigma mude as mudanças nessas mesmas paradigmas que a orientam. Esse é o papel das novidades fundamentais relativas a fatos e teorias. Produzidas inadvertidamente por um jogo realizado segundo um conjunto de regras, sua assimilação requer a elaboração de um novo conjunto. Depois que elas se incorporaram à ciência, o empreendimento científico nunca mais é o mesmo — ao menos para os especialistas cujo campo de estudo é afetado por essas novidades.

Devemos agora perguntar como podem surgir tais mudanças, examinando em primeiro lugar descobertas (ou novidades relativas a fatos), para então estudar as invenções (ou novidades concernentes à teoria). Essa distinção entre descoberta e invenção ou entre fato e teoria revelar-se-á em seguida excessivamente artificial. Sua artificialidade é uma pista importante para várias das principais teses deste ensaio. No restante deste capítulo examinaremos descobertas escolhidas e descobriremos rapidamente que elas não são eventos isolados, mas episódios prolongados, dotados de uma estrutura que reaparece regularmente. A descoberta começa com a consciência da anomalia, isto é, com o reconhecimento de que, de alguma maneira, a natureza violou as expectativas paradigmáticas que governam a ciência normal. Segue-se então uma exploração mais ou menos ampla da área onde ocorreu a anomalia. Esse trabalho somente se encerra quando a teoria do paradigma for ajustada, de tal forma que o anômalo se tenha convertido no esperado. A assimilação de um novo tipo de fato exige mais do que um ajustamento aditivo da teoria. Até que tal ajustamento tenha sido completado — até que o cientista tenha aprendido a ver a natureza de um modo diferente — o novo fato não será considerado completamente científico.

Para vermos a que ponto as novidades fatuais e teóricas estão entrelaçadas na descoberta científica, examinaremos um exemplo particularmente famoso: a descoberta do oxigênio. Pelo menos três sábios têm direito a reivindicá-la e além disso, por volta de 1770, vários outros químicos devem ter produzido ar emriquecido num recipiente de laboratório, sem o saberem.<sup>1</sup> Nesse exemplo tirado da Química Pneumática, o progresso da ciência normal preparou o caminho para uma ruptura radical. O farmacêutico suco C. W. Scheele é o primeiro cientista a quem podemos atribuir a preparação de uma amostra relativamente pura do gás. Contudo, podemos ignorar o seu trabalho, visto que só foi publicado depois de a descoberta do oxigênio ter sido anunciada repetidamente em outros lugares. Não teve portanto qualquer influência sobre o modelo histórico que mais nos preocupa aqui.<sup>2</sup> O segundo pretendente à descoberta foi o cientista e clérigo britânico Joseph Priestley, que recolheu o gás liberado pelo óxido de mercúrio vermelho aquecido. Esse trabalho representava um dos itens de uma prolongada investigação normal acerca dos "ares" liberados por um grande número de substâncias sólidas. Em 1774, Priestley identificou o gás assim produzido como óxido nítrico. Em 1775, depois de novos testes, identificou-o como ar comum dotado de uma quantidade de flogístico menor do que a usual. Lavoisier, o terceiro pretendente, iniciou as pesquisas que o levariam ao oxigênio após os experimentos de 1774 de Priestley, possivelmente devido a uma sugestão desse último. No início de 1775, Lavoisier escreveu que o gás obtido com o aquecimento do óxido vermelho de mercúrio era "o próprio ar, inteiro, sem alteração (exceto que) ... surge mais puro, mais respirável".<sup>3</sup>

1. Sobre a discussão ainda clássica a respeito da descoberta do oxigênio, ver A. N. Menzies, *The Eighteenth-Century Revolution in Science — the First Phase* (Calcutá, 1930), Cap. V. Um trabalho recente e indispensável que inclui uma exposição da controvérsia sobre a prioridade, é o de Maurice Davies, *Lavoisier, Métrieux et expérimentateur* (Paris, 1955), também T. S. Kuhn, *The Historical Structure of Scientific Discovery*, ver *Science*, CXXXVI, pp. 760-764 (junho, 1, 1963).

2. Ver, entretanto, Uno Bocklunde, A Last Letter from Scheele to Lavoisier, *Lychnos*, pp. 39-62, 1957-1958, para uma avaliação diferente do papel de Scheele.

3. J. B. Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory: The Chemical Revolution of 1775-1789* ("Harvard Case Histories in Experimental Science", Case 2, Cambridge, Mass., 1950), p. 23. Esse folheto, muito útil, reproduz muitos documentos importantes.

Por volta de 1777, provavelmente com a ajuda de uma segunda sugestão de Priestley, Lavoisier concluiu que esse gás constituía uma categoria especial, sendo um dos dois principais componentes da atmosfera — conclusão que Priestley nunca foi capaz de aceitar.

Esse modelo de descoberta levanta uma questão que pode ser colocada com relação a todos os novos fenômenos que chegam à consciência dos cientistas. Priestley ou Lavoisier, quem, (se algum deles), descobriu primeiro o oxigênio? De qualquer maneira, quando foi descoberto o oxigênio? Apresentada desse modo, a questão poderia ser colocada mesmo no caso de um único pretendente à descoberta. Não nos interessa absolutamente chegar a uma decisão acerca de prioridades e datas. Não obstante, uma tentativa de resposta esclarecerá a natureza das descobertas, já que não existem as respostas desejadas para tais perguntas. A descoberta não é o tipo de processo a respeito do qual seja apropriado colocar tais questões. O fato de que elas sejam feitas — a prioridade da descoberta do oxigênio foi muitas vezes contestada desde 1780 — é um sintoma de que existe algo de errado na imagem da ciência que concede à descoberta um papel tão fundamental. Examinemos nosso exemplo mais uma vez. A pretensão de Priestley à descoberta do oxigênio baseia-se no fato de ele ter sido o primeiro a isolar um gás que mais tarde foi reconhecido como um elemento distinto. Mas a amostra de Priestley não era pura e se segurar oxigênio impuro nas mãos é descobri-lo, isso fora feito por todos aqueles que alguma vez engarrafaram o ar atmosférico. Além do mais, se Priestley foi o descobridor, quando ocorreu a descoberta? Em 1774 ele pensou ter obtido óxido nítrico, uma substância que já conhecia; em 1775 identificou o gás com o ar desfliegstizado — o que ainda não é oxigênio e nem mesmo uma espécie de gás muito inesperada para os químicos ligados à teoria do flogisto. A alegação de Lavoisier pode ser mais consistente, mas apresenta os mesmos problemas. Se recusarmos a palma a Priestley, não podemos concedê-la a Lavoisier por seu trabalho de 1775, que o levou a identificar o gás como sendo "o próprio ar, inteiro". É preciso talvez esperar pelos trabalhos de 1776 e 1777, que levaram Lavoisier não somente a ver o gás, mas igual-

mente o que o gás era. No entanto, mesmo esse reconhecimento poderia ser contestado, já que, a partir de 1777, Lavoisier insistiu que o oxigênio era "um princípio de acidez" atômico e que o gás oxigênio se formava somente quando o "princípio" se unia ao calórico, a substância do calor.<sup>4</sup> Podemos então dizer que o oxigênio ainda não fora descoberto em 1777? Alguns poderão sentir-se tentados a fazer essa afirmação. Entretanto, o princípio de acidez só foi banido da Química depois de 1810, enquanto o calórico sobreviveu até 1860. Antes de qualquer uma dessas datas o oxigênio tornara-se uma substância química padrão.

Obviamente necessitamos de novos conceitos e novo vocabulário para analisar eventos como a descoberta do oxigênio. A proposição, "O oxigênio foi descoberto", embora indubitavelmente correta, é enganadora, pois sugere que descobrir alguma coisa é um ato simples e único, assimilável ao nosso conceito habitual (e igualmente questionável) de visão. Por isso supomos tão facilmente que descobrir, como ver ou tocar, deva ser inequivocamente atribuído a um indivíduo e a um momento determinado no tempo. Mas este último dado nunca pode ser fixado e o primeiro frequentemente também não. Ignorando Schaele, podemos dizer com segurança que o oxigênio não foi descoberto antes de 1774 e provavelmente também diríamos que foi descoberto por volta de 1777 ou pouco depois. Mas dentro desses limites ou outros semelhantes, qualquer tentativa de datar a descoberta será inevitavelmente arbitrária, pois a descoberta de um novo tipo de fenômeno é necessariamente um acontecimento complexo, que envolve o reconhecimento tanto da existência de algo, como de sua natureza. Note-se, por exemplo, que se considerássemos o oxigênio como sendo ar desfliegstizado, insistiríamos sem hesitação que Priestley fora seu descobridor, embora ainda não soubéssemos exatamente quando. Mas se tanto a observação como a conceitualização, o fato e a assimilação à teoria, estão inseparadamente ligados à descoberta, então esta é um processo que exige tempo. Somente quando todas essas categorias conceituais relevantes estão pre-

<sup>4</sup> H. Metzger, *La philosophie de la matière chez Lavoisier*, (Paris, 1935) e Dauvas, *op. cit.*, Cap. VII.

paradas de antemão (e nesse caso não se trata de um novo tipo de fenômeno), pode-se descobrir ao mesmo tempo, rápida e facilmente, a *existência* e a *natureza* do que ocorre.

Admitamos agora que a descoberta envolve um processo de assimilação conceitual amplo, embora não necessariamente prolongado. Poderemos igualmente afirmar que envolve uma modificação no paradigma? Ainda não é possível dar uma resposta geral a essa questão, mas, pelo menos nesse caso, a resposta deve ser afirmativa. O que Lavoisier anunciou em seus trabalhos posteriores a 1777 não foi tanto a descoberta do oxigênio, como a teoria da combustão pelo oxigênio. Essa teoria foi a pedra angular de uma reformulação tão ampla da Química que veio a ser chamada de *Revolução Química*. De fato, se a descoberta do oxigênio não tivesse estado intimamente relacionada com a emergência de um novo paradigma para a Química, o problema da prioridade (do qual partimos), nunca teria parecido tão importante. Nesse caso, como em outros, o valor atribuído a um novo fenômeno (e portanto sobre seu descobridor) varia com nossa estimativa da dimensão da violação das previsões do paradigma perpetrada por este. Observe-se, entretanto — pois isto terá importância mais tarde — que a descoberta do oxigênio não foi em si mesma a causa da mudança na teoria química. Muito antes de desempenhar qualquer papel na descoberta de um novo gás, Lavoisier convenceu-se de que havia algo errado com a teoria flogística. Mais: convenceu-se de que corpos em combustão absorvem uma parte da atmosfera. Registrara essas convicções numa nota lacrada depositada junto ao secretário da Academia Francesa em 1772.<sup>5</sup> O trabalho sobre o oxigênio deu forma e estrutura mais precisas à impressão anterior de Lavoisier de que havia algo errado na teoria química corrente. Indicou-lhe algo que ele já estava preparado para descobrir: a natureza da substância que a combustão subtrai da atmosfera. Essa consciência prévia das dificuldades deve ter sido uma parte significativa

5. O relato mais autorizado sobre a origem do descontentamento de Lavoisier é o de HENRY GUNNAR, *Lavoisier — The Crucial Year: The Background and Origin of His First Experiments on Combustion in 1772* (Ithaca, NY, 1961).

daquilo que permitiu a Lavoisier ver nas experiências semelhantes às de Priestley um gás que o próprio Priestley fora incapaz de perceber. Inversamente, o fato de que era necessário uma revisão importante no paradigma para que se pudesse ver o que Lavoisier viu, deve ter sido a razão principal para Priestley ter permanecido, até o fim de sua vida, incapaz de vê-lo.

Dois outros exemplos bem mais breves reforçarão o que acabamos de dizer. Ao mesmo tempo, nos permitirão passar de uma elucidação da natureza das descobertas a uma compreensão das circunstâncias sob as quais elas surgem na ciência. Num esforço para apresentar as principais formas pelas quais as descobertas podem ocorrer, escolhemos exemplos que são diferentes entre si e simultaneamente diversos da descoberta do oxigênio. O primeiro, o dos raios X, é um caso clássico de descoberta por acidente. Esse tipo de descoberta ocorre mais freqüentemente do que os padrões impessoais dos relatórios científicos nos permitem perceber. Sua história começa no dia em que o físico Roentgen interrompeu uma investigação normal sobre os raios catódicos, ao notar que uma tela de cianeto de platina e bário, colocada a certa distância de sua aparelhagem protetora, brilhava quando se produzia uma descarga. Investigações posteriores — que exigiram sete semanas febris, durante as quais Roentgen raramente deixou o laboratório — indicaram que a causa do brilho provinha do tubo de raios catódicos, que a radiação projetava sombras e que não podia ser desviada por um ímã, além de muitas outras coisas. Antes de anunciar sua descoberta, Roentgen convenceu a si próprio que esse efeito não se devia aos raios catódicos, mas a um agente dotado de alguma semelhança com a luz.<sup>6</sup>

Mesmo um resumo tão sucinto revela semelhanças impressionantes com a descoberta do oxigênio: antes das experiências com o óxido vermelho de mercúrio, Lavoisier fizera experiências que não produziram os resultados previstos pelo paradigma flogístico; a descoberta de Roentgen começou com o reconhecimento de que sua tela brilhava quando não devia fa-

6. L. W. TAYLOR, *Physics, the Pioneer Science* (Boston, 1941), pp. 796-794 e T. W. CHALMERS, *Historic Researches* (London, 1949), pp. 218-219.

zê-lo. Em ambos os casos a percepção da anomalia — isto é, de um fenômeno para o qual o paradigma não preparara o investigador — desempenhou um papel essencial na preparação do caminho que permitiu a percepção da novidade. Mas, também nesses dois casos, a percepção de que algo saía errado foi apenas o prelúdio da descoberta. Nem o oxigênio, nem os raios X surgiram sem um processo ulterior de experimentação e assimilação. Por exemplo, em que momento da investigação de Roentgen podemos dizer que os raios X foram realmente descobertos? De qualquer modo, não no primeiro momento, quando não se recebeu senão uma tela emitindo sinais luminosos. Pelo menos um outro observador já vira esse brilho e, para sua posterior tristeza, não descobriu absolutamente nada.<sup>7</sup> E igualmente óbvio que não podemos deslocar o momento da descoberta para um determinado ponto da última semana de investigações — quando Roentgen estava explorando as propriedades da nova radiação que ele já descobrira. Podemos somente dizer que os raios X surgiram em Würzburg entre 8 de novembro e 28 de dezembro de 1895.

Entretanto, num terceiro aspecto, a existência de paralelismos significativos entre as descobertas do oxigênio e dos raios X é bem menos aparente. Ao contrário da descoberta do oxigênio, a dos raios X não esteve, durante uma década, implicada em qualquer transformo mais óbvio da teoria científica. Em que sentido pode-se então afirmar que a assimilação dessa descoberta tornou necessária uma mudança de paradigma? Existem boas razões para recusar essa mudança. Não há dúvida, entretanto, de que os paradigmas aceitos por Roentgen e seus contemporâneos não poderiam ter sido usados para prever os raios X. (A teoria eletromagnética de Maxwell ainda não fora aceita por todos e a teoria das partículas de raios catódicos era uma entre muitas especulações existentes.) Mas nenhum desses paradigmas proibia (pelo menos em algum sentido óbvio) a existência de raios X, tal como a teoria do flogisto proibia a interpretação de Lavoisier a res-

7. E. T. WHITTAKER, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, I (2. ed. Londres, 1951), p. 358, nota 1. Sir George Thompson Crookes, alertado por placas fotográficas inexplicavelmente opacas, estava igualmente no caminho da descoberta.

peito do gás de Priestley. Ao contrário: a prática e a teoria científicas aceitas em 1895 admitiam diversas formas de radiação — visível, infravermelha e ultravioleta. Por que os raios X não puderam ser aceitos como uma nova forma de manifestação de uma classe bem conhecida de fenômenos naturais? Por que não foram recebidos da mesma maneira que, por exemplo, a descoberta de um elemento químico adicional? Na época de Roentgen, ainda estavam sendo buscados e encontrados novos elementos para preencher os lugares vazios na tabela periódica. Esse empreendimento era um projeto habitual na ciência normal da época; o sucesso de uma investigação era motivo para congratulações, mas não para surpresas.

Contudo, os raios X foram recebidos não só com surpresa, mas também com choque. A princípio Lord Kelvin considerou-os um embuste muito bem elaborado.<sup>8</sup> Outros, embora não pudessem duvidar das provas apresentadas, sentiram-se confundidos por ela. Embora a existência dos raios X não estivesse interdita pela teoria estabelecida, ela violava expectativas profundamente arraigadas. Creio que essas expectativas estavam implícitas no planejamento e na interpretação dos procedimentos de laboratório admitidos na época. Na última década do século XIX, o equipamento de raios catódicos era amplamente empregado em numerosos laboratórios europeus. Se o equipamento de Roentgen produzira os raios X, então muitos outros experimentadores deviam estar produzindo-os sem consciência disso. Talvez esses raios, que poderiam muito bem ter outras origens não-conhecidas, estivessem implícitos em fenômenos anteriormente explicados sem referência a eles. Na pior das hipóteses, no futuro diversos tipos de aparelhos muito familiares teriam que ser protegidos por uma capa de chumbo. Trabalhos anteriormente concluídos, relativos a projetos da ciência normal, teriam que ser refeitos, pois os cientistas não haviam reconhecido, nem controlado, uma variável relevante. Sem dúvida, os raios X abriram um novo campo de estudo, ampliando assim os domínios potenciais da ciência normal. Mas tam-

8. THOMPSON, SILVERMAN P. *The Life of Sir William Thomson Baron Kelvin of Largs*. (Londres, 1910), II, p. 1125.

tem modificaram (e esse é o ponto mais importante) campos já existentes. No decorrer desse processo, negaram a determinados tipos de instrumentação, que anteriormente eram considerados paradigmáticos, o direito a esse título.

Em resumo, conscientemente ou não, a decisão de empregar um determinado aparelho e empregá-lo de um modo específico baseia-se no pressuposto de que somente certos tipos de circunstâncias ocorrerão. Existem tanto expectativas instrumentais como teóricas, que frequentemente têm desempenhado um papel decisivo no desenvolvimento científico. Uma dessas expectativas, por exemplo, faz parte da história da descoberta tardia do oxigênio. Priestley e Lavoisier, utilizando um teste-padrão para determinar "a boa qualidade do ar", misturaram dois volumes do seu gás com um volume de óxido nítrico, sacudiram a mistura sobre a água e então mediram o volume de resíduo gasoso. A experiência prévia a partir da qual fora engendrado esse procedimento assegurava-lhes que o resíduo, juntamente com o ar atmosférico, corresponderia a um volume. No caso de qualquer outro gás (ou ar poluído), o volume seria maior. Nas experiências com o oxigênio, ambos encontraram um resíduo que se aproximava de um volume e a partir desse dado identificaram o gás. Somente muito mais tarde (e em parte devido a um acidente), Priestley renunciou ao procedimento habitual e tentou misturar óxido nítrico em outras proporções. Seu compromisso aos procedimentos do teste original — procedimentos sancionados por muitas experiências anteriores — fora simultaneamente um compromisso com a não-existência de gases que pudessem se comportar como fizera o oxigênio.<sup>9</sup>

Poderíamos multiplicar as ilustrações desse tipo fazendo referência, por exemplo, à identificação tardia da fissão do urânio. Uma das razões pelas quais essa reação nuclear revelou-se especialmente difícil de reconhecer liga-se ao fato de que os pesquisadores conscientes do que se podia esperar do bombardeio do urânio escolheram testes químicos que visavam descobrir principalmente quais eram os elementos do extremo su-

perior da tabela periódica.<sup>10</sup> Levando-se em conta a frequência com que tais compromissos instrumentais revelam-se enganadores, deveria a ciência abandonar os testes e instrumentos propostos pelo paradigma? Não. Disso resultaria um método de pesquisa inconnível. Os procedimentos e aplicações do paradigma são tão necessários à ciência como as leis e teorias paradigmáticas — e têm os mesmos efeitos. Restringem inevitavelmente o campo fenomenológico acessível em qualquer momento da investigação científica. Isto posto, estamos em condições de perceber um sentido fundamental no qual uma descoberta como a dos raios X exige uma mudança de paradigma — e portanto uma mudança nos procedimentos e expectativas — para uma fração especial da comunidade científica. Conseqüentemente, poderemos igualmente entender como a descoberta dos raios X pode ter aparecido como um estranho mundo novo para muitos cientistas e assim participar tão efetivamente da crise que gerou a Física do século XX.

Nosso último exemplo de descoberta científica, a *Garrara de Leyden*, pertence a uma classe que pode ser descrita como sendo indiziada pela teoria. À primeira vista o termo pode parecer paradoxal. Grande parte do que foi dito até agora sugere que as descobertas preditas pela teoria fazem parte da ciência normal e não produzem *novos tipos* de fatos. Por exemplo, refêr-me anteriormente às descobertas de novos elementos químicos durante a segunda metade do século XIX como sendo resultado da ciência normal — obtido da maneira acima mencionada. Mas nem todas as teorias são teorias paradigmáticas. Tanto os perío-

10. K. K. DARROW, *Nuclear Erisson, Bell System Technical Journal*, XIX, pp. 267-89 (1940). O criatório, um dos dois principais produtos da fissão parece não ter sido identificado por meios químicos senão depois da reação ter sido bem compreendida. O bário, o outro produto, quase foi identificado quimicamente na etapa final da investigação porque esse elemento leve que se adriado à solução radioativa para precipitar o elemento pesado que os químicos nucleares estavam buscando. O fracasso ter sido bem investigada por quase cinco anos, ao seguinte relatório: "Como químicos, esta investigação deveria conduzir-nos ... a modificar todos os nomes do esquema (da reação) precedente e a escrever Ba, La, Ce em vez de Ra, Ac, Th. Mas, como "químicos nucleares", estreitamente relacionados à Física, não podemos dar esse salto que contradiaria todas as experiências prévias da Física Nuclear. Pode ser que uma série de estranhos acidentes torne nossos resultados enganadores" (HARRIS, Otto, e STRASSMAN, Fritz, "Über den Nachweis und das Verhalten der bei Bestrahlung des Uran mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle", *Die Naturwissenschaften*, XXVII (1939), 15).

dos pré-paradigmáticos, como durante as crises que conduzem a mudanças em grande escala do paradigma, os cientistas costumam desenvolver muitas teorias especulativas e desarticuladas, capazes de indicar o caminho para novas descobertas. Muitas vezes, entretanto, essa descoberta não é exatamente a antecipada pela hipótese especulativa e experimental. Somente depois de articularmos estreitamente a experiência e a teoria experimental, pode surgir a descoberta e a teoria convertida em paradigma.

A descoberta da Garrafa de Leyden revela todos esses traços, além dos que examinamos anteriormente. Quando o processo de descobrimento teve início, não existia um paradigma único para a pesquisa elétrica. Em lugar disso, diversas teorias, todas derivadas de fenômenos relativamente acessíveis, competiam entre si. Nenhuma delas conseguiu organizar muito bem toda a variedade dos fenômenos elétricos. Esse fracasso foi a fonte de diversas das anomalias que forneceram o pano de fundo para a descoberta da Garrafa de Leyden. Uma das escolas de eletricitistas que competiam entre si concebeu a eletricidade como um fluido. Essa concepção levou vários cientistas a tentarem engarrar tal fluido. Essa operação consistia em segurar nas mãos um recipiente de vidro cheio de água, colocando-se essa última em contato com um condutor proveniente de um gerador eletrostático em atividade. Ao retirar a garrafa da máquina e tocar a água (ou um condutor a ela ligado) com sua mão livre, todos esses experimentadores receberam um forte choque elétrico. Entretanto, essas primeiras experiências não conduziram os eletricitistas à descoberta da Garrafa de Leyden. Esse instrumento emergiu mais lentamente. Também nesse caso é impossível precisar o momento da descoberta. As primeiras tentativas de armazenar o fluido elétrico somente funcionaram porque os investigadores seguraram o recipiente nas mãos, ao mesmo tempo em que permaneciam com os pés no solo. Os eletricitistas ainda precisavam aprender que a garrafa exigia uma capa condutora (tanto interna como externa) e que o fluido não fica armazenado no recipiente. O instrumento que chamamos Garrafa de Leyden surgiu em algum momento das investigações em que os eletricitistas constataram esse fato, descobrindo ainda vá-

rios outros efeitos anômalos. Além disso, as experiências que propiciaram o surgimento desse aparelho (muitas das quais realizadas por Franklin) eram exatamente aquelas que tornaram necessária a revisão drástica da teoria do fluido, proporcionando assim o primeiro paradigma completo para os fenômenos ligados à eletricidade.<sup>11</sup>

Em maior ou menor grau (oscilando num contínuo entre o resultado chocante e o resultado antecipado), as características comuns aos três exemplos acima são traços de todas as descobertas das quais emergem novos tipos de fenômenos. Essas características incluem: a consciência prévia da anomalia, a emergência gradual e simultânea de um reconhecimento tanto no plano conceitual como no plano da observação e a consequente mudança das categorias e procedimentos paradigmáticos — mudança muitas vezes acompanhada por resistência. Existem inclusive provas de que essas mesmas características fazem parte da natureza do próprio processo perceptivo. Numa experiência psicológica que merece ser melhor conhecida fora de seu campo original, Bruner e Postman pediram a sujeitos experimentais para que identificassem uma série de cartas de baralho, após serem expostos a elas durante períodos curtos e experimentalmente controlados. Muitas das cartas eram normais, mas algumas tinham sido modificadas, como, por exemplo, um seis de espadas vermelho e um quatro de copas preto. Cada seqüência experimental consistia em mostrar uma única carta a uma única pessoa, numa série de apresentações cuja duração crescia gradualmente. Depois de cada apresentação, perguntava-se a cada participante o que ele via. A seqüência terminava após duas identificações corretas sucessivas.<sup>12</sup>

Mesmo nas exposições mais breves muitos indivíduos identificavam a maioria das cartas. Depois de um pequeno acréscimo no tempo de exposição, todos os entrevistados identificaram todas as cartas. No caso

11. A respeito das várias etapas da evolução da Garrafa de Leyden, ver I. B. COHEN, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Englewood Cliffs, 1956), pp. 385-386, 400-406, 452-467 e 506-507. O último estágio é descrito por WHITAKER, *op. cit.*, pp. 50-52.

12. BRUNER, J. S. & POSTMAN, Leo. On the Perception of Incongruity: A Paradigm. *Journal of Personality*, XVIII, pp. 206-223 (1949).

das cartas normais, essas identificações eram geralmente corretas, mas as cartas anômalas eram quase sempre identificadas como normais, sem hesitação ou perplexidade aparentes. Por exemplo, o quatro de copas preto era tomado pelo quatro de espadas ou de copas. Sem qualquer consciência da anomalia, ele era imediatamente adaptado a uma das categorias conceituais nem mesmo de dizer que os entrevistados viam algo diferente daquilo que identificavam. Com uma exposição maior das cartas anômalas, os entrevistados começaram então a hesitar e a demonstrar consciência da anomalia. Por exemplo, frente ao seis de espadas vermelho, alguns disseram: isto é um seis de espadas, mas há algo de errado com ele — o preto tem um contorno vermelho. Uma exposição um pouco maior deu margem a hesitações e confusões ainda maiores, até que, finalmente, algumas vezes de modo repentino, a maioria dos entrevistados passou a fazer a identificação correta sem hesitação. Além disso, depois de repetir a exposição com duas ou três cartas anômalas, já não tinham dificuldade com as restantes. Contudo, alguns entrevistados não foram capazes de realizar a adaptação de suas categorias que era necessária. Mesmo com um tempo médio de exposição quarenta vezes superior ao que era necessário para reconhecer as cartas normais com exatidão, mais de dez por cento das cartas anômalas não foram identificadas corretamente. Os entrevistados que fracassaram nessas condições experimentavam muitas vezes uma grande aflição. Um deles exclamou: "não posso fazer a distinção, seja lá qual for. Desta vez nem parecia ser uma carta. Já não sei sua cor, nem se é de espadas ou copas. Não estou seguro nem mesmo a respeito do que é uma carta de copas. Meu Deus!"<sup>13</sup>

Seja como metáfora, seja porque reflita a natureza da mente, essa experiência psicológica proporcional a um esquema maravilhosamente simples e convincente do processo de descoberta científica. Na ciência, assim como na experiência com as cartas do baralho, a novidade somente emerge com dificuldade (difícil-

13. *Ibidem*, p. 218. Meu colega Postman me afirma que, embora cobrindo de antemão todo o aparelho e a apreensão, sentiu, não obstante, profundo desconforto ao olhar as cartas anômalas.

dade que se manifesta através de uma resistência) contra um pano de fundo fornecido pelas expectativas. Inicialmente experimentamos somente o que é habitual e previsto, mesmo em circunstâncias nas quais mais tarde se observará uma anomalia. Contudo, uma maior familiaridade dá origem à consciência de uma anomalia ou permite relacionar o fato a algo que anteriormente não ocorreu conforme o previsto. Essa consciência da anomalia inaugura um período no qual as categorias conceituais são adaptadas até que o que inicialmente era considerado anômalo se converte no previsto. Nesse momento completa-se a descoberta. Já insiú anteriormente sobre o fato de que esse processo (ou um muito semelhante) intervem na emergência de todas as novidades científicas fundamentais. Gostaria agora de assinalar que, reconhecendo esse processo, podemos facilmente começar a perceber por que a ciência normal — um empreendimento não dirigido para as novidades e que a princípio tende a suprimí-las — pode, não obstante, ser tão eficaz para provocalas.

No desenvolvimento de qualquer ciência, admite-se habitualmente que o primeiro paradigma explícito e bastante sucesso a maior parte das observações e experiências facilmente acessíveis aos praticantes daquela ciência. Em consequência, um desenvolvimento posterior comumente requer a construção de um equipamento elaborado, o desenvolvimento de um vocabulário e técnicas esotéricas, além de um refinamento de conceitos que se assemelham cada vez menos com os protótipos habituais do senso comum. Por um lado, essa profissionalização leva a uma intensa restrição da visão do cientista e a uma resistência considerável à mudança de paradigma. A ciência torna-se sempre mais rígida. Por outro lado, dentro das áreas para as quais o paradigma chama a atenção do grupo, a ciência normal conduz a uma informação detalhada e a uma precisão da integração entre a observação e a teoria que não poderia ser atingida de outra maneira. Além disso, esse detalhamento e precisão da integração possuem um valor que transcende seu interesse intrínseco, nem sempre muito grande. Sem os instrumentos especiais, construídos sobretudo para fins previamente estabelecidos, os resultados que conduzem às

novidades poderiam não ocorrer. Mesmo quando os instrumentos especializados existem, a novidade normalmente emerge apenas para aquele que, sabendo com precisão o que deveria esperar, é capaz de reconhecer que algo saiu errado. A anomalia aparece somente contra o pano-de-fundo proporcionado pelo paradigma. Quanto maiores forem a precisão e o alcance de um paradigma, tanto mais sensível este será como indicador de anomalias e, conseqüentemente, de uma ocasião para a mudança de paradigma. No processo normal de descoberta, até mesmo a mudança tem uma utilidade que será mais amplamente explorada no próximo capítulo. Ao assegurar que o paradigma não será facilmente abandonado, a resistência garante que os cientistas não serão perturbados sem razão. Garante ainda que as anomalias que conduzem a uma mudança de paradigma afetarão profundamente os conhecimentos existentes. O próprio fato de que, freqüentemente, uma novidade científica significativa emerge simultaneamente em vários laboratórios é um índice da natureza fortemente tradicional da ciência normal, bem como da forma completa com a qual essa atividade tradicional prepara o caminho para sua própria mudança.

Todas as descobertas examinadas no Cap. 5 causarão mudanças de paradigmas ou contribuirão para tanto. Além disso, as mudanças nas quais essas descobertas estiveram implicadas foram, todas elas, tanto construtivas como destrutivas. Depois da assimilação da descoberta, os cientistas encontravam-se em condições de dar conta de um número maior de fenômenos ou explicar mais precisamente alguns dos fenômenos previamente conhecidos. Tal avanço somente foi possível porque algumas crenças ou procedimentos anteriormente aceitos foram descartados e, simultaneamente, substituídos por outros. Procurei mostrar que alte-

## 6. AS CRISES E A EMERGÊNCIA DAS TEORIAS CIENTÍFICAS

rações desse tipo estão associadas com todas as descobertas realizadas pela ciência normal — exceção feita àquelas não surpreendentes, totalmente antecipadas a não ser em seus detalhes. Contudo, as descobertas não são as únicas fontes dessas mudanças construtivas-destrutivas de paradigmas. Neste capítulo começaremos a examinar mudanças similares, mas usualmente bem mais amplas, que resultam da invenção de novas teorias.

Após termos argumentado que nas ciências o fato e a teoria, a descoberta e a invenção não são categóricas e permanentemente distintas, podemos antecipar uma coincidência entre este capítulo e o anterior. (A sugestão inviável, segundo a qual Priestley foi o primeiro a *descobrir* o oxigênio, que Lavoisier *inventaria* mais tarde, tem seus atrativos. Já havíamos encontrado o oxigênio como uma descoberta; em breve o encontraremos como uma invenção.) Ao nos ocuparmos da emergência de novas teorias, inevitavelmente ampliaremos nossa compreensão da natureza das descobertas. Ainda assim, coincidência não é identidade. Os tipos de descobertas examinados no último capítulo não foram responsáveis — pelo menos não o foram isoladamente — pelas alterações de paradigma que se verificaram em revoluções como a copernicana, a newtoniana, a química e a einsteiniana. Tampouco foram responsáveis pelas mudanças de paradigmas mais limitadas (já que mais exclusivamente profissionais), produzidas pela teoria ondulatória da luz, pela teoria dinâmica do calor ou pela teoria eletromagnética de Maxwell. Como podem tais teorias brotar da ciência normal, uma atividade que não visa realizar descobertas e menos ainda produzir teorias?

Se a consciência da anomalia desempenha um papel na emergência de novos tipos de fenômenos, ninguém deveria surpreender-se com o fato de que uma consciência semelhante, embora mais profunda, seja um pré-requisito para todas as mudanças de teoria aceitáveis. Penso que a esse respeito a evidência histórica é totalmente inequívoca. A astronomia ptolemaica estava numa situação escandalosa, antes dos trabalhos de Copérnico.<sup>1</sup> As contribuições de Galileu ao

estudo do movimento estão estreitamente relacionadas com as dificuldades descobertas na teoria aristotélica pelos críticos escolásticos.<sup>2</sup> A nova teoria de Newton sobre a luz e a cor originou-se da descoberta de que nenhuma das teorias pré-paradigmáticas existentes explicava o comprimento do espectro. A teoria ondulatória que substituiu a newtoniana foi anunciada em meio a uma preocupação cada vez maior com as anomalias presentes na relação entre a teoria de Newton e os efeitos de polarização e refração.<sup>3</sup> A Termodinâmica nasceu da colisão de duas teorias físicas existentes no século XIX e a Mecânica Quântica de diversas dificuldades que rodeavam os calores específicos, o efeito fotoelétrico e a radiação de um corpo negro.<sup>4</sup> Além disso, em todos esses casos, exceto no de Newton, a consciência da anomalia persistia por tanto tempo e penetrava tão profundamente na comunidade científica que é possível descrever os campos por ela afetados como em estado de crise crescente. A emergência de novas teorias é geralmente precedida por um período de insegurança profissional pronunciada, pois exige a destruição em larga escala de paradigmas e grandes alterações nos problemas e técnicas da ciência normal. Como seria de esperar, essa insegurança é gerada pelo fracasso constante dos quebra-cabeças da ciência normal em produzir os resultados esperados. O fracasso das regras existentes é o prelúdio para uma busca de novas regras.

Comecemos examinando um caso particularmente famoso de mudança de paradigma: o surgimento da astronomia copernicana. Quando de sua elaboração, durante o período de 200 a.C. a 200 d.C., o sistema precedente, o ptolemaico, foi admiravelmente bem sucedido na predição da mudança de posição das estre-

2. MARSHALL CLAGETT, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wisc., 1959), Partes II e III. A. KOYRE revela numerosos elementos medievais presentes no pensamento de Galileu em seus *Essays on Galilean Science* (Paris, 1959), especialmente no v. I.

3. A respeito de Newton, ver T. S. KUNN, "Newton's Optical Papers," em *Isaac Newton's Papers and Letters in Natural Philosophy*, ed. I. B. COHEN (Cambridge, Mass., 1958), pp. 27-45. Para o prelúdio da teoria ondulatória, ver E. T. WHITTAKER, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, I (2.ª ed., Londres, 1951), pp. 94-109; e W. HEISENBERG, *History of the Inductive Sciences* (ed. rev.; Londres, 1847), II, pp. 396-466.

4. Sobre a Termodinâmica, ver SUZANNE P. THOMPSON, *Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (Londres, 1910), I, pp. 266-281. Sobre a teoria dos quanta, ver, FRIEDRICH REICHEN, *The Quantum Theory* (Londres, 1922), Caps. I e II, trad. de H. S. Hatfield e H. L. Brose.

1. L. HALL, A. R. *The Scientific Revolution, 1500-1600*. (Londres, 1954), p. 16.

las e dos planetas. Nenhum outro sistema antigo sair-se tão bem: a astronomia ptolemaica é ainda hoje amplamente usada para cálculos aproximados; no que concerne aos planetas, as predições de Ptolomeu eram tão boas como as de Copérnico. Porém, quando se trata de uma teoria científica, ser admiravelmente bem sucedida não é a mesma coisa que ser totalmente bem sucedida. Tanto com respeito às posições planetárias, como com relação aos equinócios, as predições feitas pelo sistema de Ptolomeu nunca se ajustaram perfeitamente às melhores observações disponíveis. Para numerosos sucessores de Ptolomeu, uma redução dessas pequenas discrepâncias constituiu-se num dos principais problemas da pesquisa astronômica normal, do mesmo modo que uma tentativa semelhante para ajustar a observação do céu à teoria de Newton, forneceu problemas para a pesquisa normal de seus sucessores do século XVIII. Durante algum tempo, os astrônomos dispunham de todos os motivos para supor que tais tentativas de aperfeiçoamento da teoria seriam tão bem sucedidas como as que haviam conduzido ao sistema de Ptolomeu. Dada uma determinada discrepância, os astrônomos conseguiam invariavelmente eliminá-la, recorrendo a alguma adaptação especial do sistema ptolemaico de círculos compostos. Mas, com o decorrer do tempo, alguém que examinasse o resultado acabado do esforço de pesquisa normal de muitos astrônomos, poderia observar que a complexidade da Astronomia estava aumentando mais rapidamente que sua precisão e que as discrepâncias corrigidas em um ponto provavelmente reapareceriam em outro.<sup>5</sup>

Tais dificuldades só foram reconhecidas muito lentamente, pois a tradição astronômica sofreu repetidas intervenções externas e porque, dada a ausência da imprensa, a comunicação entre os astrônomos era restrita. Mas, ao fim e ao cabo, produziu-se uma consciência das dificuldades. Por volta do século XIII, Afonso X pôde declarar que, se Deus o houvesse consilado ao criar o universo, teria recebido bons conselhos. No século XVI, Domenico da Novara, colabrador de Copérnico, sustentou que nenhum sistema tão

5. DREYER, J. L. E. *A History of Astronomy from Thales to Kepler*. (2. ed. Nova York, 1953), Caps. XI e XII.

complicado e impreciso como se tornara o ptolemaico poderia ser realmente a expressão da natureza. O próprio Copérnico escreveu no prefácio do *De Revolutionibus* que a tradição astronômica que herdara acabara criando tão-somente um monstro. No início do século XVI, um número crescente dentre os melhores astrônomos europeus reconhecia que o paradigma astronômico estava fracassando nas aplicações a seus próprios problemas tradicionais. Esse reconhecimento foi um pré-requisito para a rejeição do paradigma ptolemaico por parte de Copérnico e para sua busca de um substituto. Seu famoso prefácio fornece ainda hoje uma das descrições clássicas de um estado de crise.<sup>6</sup>

Certamente o fracasso da atividade técnica normal de resolução de quebra-cabeças não foi o único ingrediente da crise astronômica com a qual Copérnico se confrontou. Um estudo amplo discutiria igualmente a pressão social para a reforma do calendário, pressão que tornou particularmente premente o problema da precisão dos equinócios. A par disso, uma explicação mais completa levaria em consideração a crítica medieval a Aristóteles, a ascensão do neoplatonismo da Renascença, bem como outros elementos históricos significativos. Mas ainda assim o fracasso técnico permaneceria como o cerne da crise. Numa ciência amadurecida — a Astronomia alcançara esse estágio já na Antiguidade — fatores externos como os acima citados possuem importância especial na determinação do momento do fracasso do paradigma, da facilidade com que pode ser reconhecido e da área onde, devido a uma concentração da atenção, ocorre pela primeira vez o fracasso. Embora sejam imensamente importantes, questões dessa natureza estão além dos limites deste ensaio.

Esclarecido esse aspecto no tocante à revolução copernicana, passemos a um segundo exemplo bastante diferente: a crise que precedeu a emergência da teoria de Lavoisier sobre a combustão do oxigênio. Nos anos que se seguiram a 1770 muitos fatores se combinaram para gerar uma crise na Química. Os historiadores não estão inteiramente de acordo, nem so-

6. KIRBY, T. S. *The Copernican Revolution*. (Cambridge, Mass., 1957), pp. 135-143.

bria a natureza, nem sobre a sua importância relativa. Mas dois fatores são aceitos como sendo de primeira magnitude: o nascimento da Química Pneumática e a questão das relações de peso. A história do primeiro inicia no século XVII com o desenvolvimento da bomba de ar e sua utilização nas experiências químicas. Durante o século seguinte, utilizando aquela bomba e numerosos artefatos pneumáticos, os químicos começaram a compreender que o ar devia ser um ingrediente ativo nas reações químicas. Mas, com algumas exceções tão equivocadas que não podem ser consideradas como exceções — os químicos continuaram a acreditar que o ar era a única espécie de gás existente. Até 1756, quando Joseph Black demonstrou que o ar fixo ( $\text{CO}_2$ ) podia ser distinguido com precisão do ar normal, pensava-se que duas amostras de gás eram diferentes apenas no tocante a suas impurezas.<sup>7</sup>

Após os trabalhos de Black, a investigação sobre os gases prosseguiu de forma rápida, especialmente através de Cavendish, Priestley e Scheele, que juntos desenvolveram diversas novas técnicas capazes de distinguir diferentes amostras de gases. Todos eles, de Black a Scheele, acreditavam na teoria flogística e empregavam-na muitas vezes no planejamento e na interpretação de suas experiências. Scheele na verdade produziu o oxigênio, pela primeira vez, através de uma cadeia complexa de experiências destinadas a desflogistizar o calor. Contudo, o resultado de suas experiências foi uma variedade de amostras e propriedades de gases tão complexas que a teoria do flogisto revelou-se cada vez menos capaz de ser utilizada em experiências de laboratório. Embora nenhum desses químicos tenha sugerido que a teoria devia ser substituída, foram incapazes de aplicá-la de maneira coerente. Quando, a partir de 1770, Lavoisier iniciou suas experiências com o ar, havia tantas versões da teoria do flogisto como químicos pneumáticos.<sup>8</sup> Essa prolifera-

7. PARKINSON, J. R. *A Short History of Chemistry*. (2. ed. Londres, 1951), pp. 48-51, 73-85 e 90-120.

8. Embora seu interesse principal se volte para um período um pouco posterior, existe muito material relevante disperso na obra de J. R. PARKINSON e DOUGLAS MCKIE, *Historical Studies on the Phlogiston Theory, Annals of Science*, II (1937), pp. 361-404; III (1938), pp. 1-58, 337-371; e IV (1939), pp. 337-71.

ção de versões de uma teoria é um sintoma muito usual de crise. Em seu prefácio, Copérnico queixou-se disso. Contudo, a crescente indeterminação e a utilidade decrescente da teoria flogística não foram as únicas causas da crise com a qual Lavoisier se defrontou. Ele estava igualmente muito preocupado em encontrar uma explicação para o aumento de peso que muitos corpos experimentam quando queimados ou aquecidos. Esse é um outro problema com uma longa pré-história. Pelo menos alguns químicos do Islã sabiam que determinados metais ganham peso quando aquecidos. No século XVII, diversos investigadores haviam concluído, a partir desse mesmo fato, que um metal aquecido incorporava alguns ingredientes da atmosfera. Mas para muitos outros cientistas da época essa conclusão parecia desnecessária. Se as reações químicas podiam alterar o volume, a cor e a textura dos ingredientes, por que não poderiam alterar o peso? O peso nem sempre foi considerado como a medida da quantidade de matéria. Além disso, o aumento de peso, obtido mediante o aquecimento, continuou sendo um fenômeno isolado. A maior parte dos corpos naturais (por exemplo, a madeira) perdem peso ao serem aquecidos, tal como havia de predizer mais tarde a teoria do flogisto.

Durante o século XVIII, porém, tais respostas, que inicialmente pareciam adequadas ao problema do aumento de peso, tornaram-se cada vez mais difíceis de serem sustentadas. Os químicos descobriram um número sempre maior de casos nos quais o aumento de peso acompanhava o aquecimento. Isso deveu-se em parte ao emprego cada vez maior da balança como instrumento-padrão da Química e em parte ao desenvolvimento da Química Pneumática, que tornou possível e desejável a retenção dos produtos gasosos das reações. Ao mesmo tempo, a assimilação gradual da teoria gravitacional de Newton levou os químicos a insistirem em que o aumento de peso deveria significar um aumento na quantidade de matéria. Essas conclusões não conduziram à rejeição da teoria flogística, que podia ser ajustada de muitas maneiras. Talvez o flogisto tivesse peso negativo, ou talvez partículas de fogo ou de alguma outra coisa entrassem no corpo aquecido ao mesmo tempo em que o flogisto o abandonava. Havia ainda outras explicações. Mas se o pro-

blema do aumento de peso não conduziu à rejeição da teoria do flogisto, estimulou um número cada vez maior de estudos especiais nos quais esse problema tinha grande importância. Um deles, "Sobre o Flogisto considerado como uma Substância Pesada e (analisada) em termos das Mudanças de Peso que provoca nos Corpos aos quais se une", foi lido na Academia Francesa no início de 1772. No fim daquele ano, Lavoisier entregou a sua famosa nota selada ao secretário da Academia. Antes de a nota ter sido escrita, um problema, que por muitos anos estivera no limiar da consciência dos químicos, convertera-se num quebra-cabeça extraordinário e sem solução.<sup>9</sup> Muitas versões diferentes da teoria flogística foram elaboradas para responder ao problema. Tal como os problemas da Química Pneumática, os relativos ao aumento de peso dificultaram ainda mais a compreensão do que seria a teoria flogística. Embora ainda fosse considerado e aceito como um instrumento de trabalho útil, o paradigma da Química do século XVIII está perdendo gradualmente seu *status* ímpar. Cada vez mais as investigações por ele orientadas assemelhavam-se às levadas a cabo sob a direção de escolas competidoras do período pré-paradigmático — outro efeito típico da crise.

Examinemos agora um terceiro e último exemplo — a crise na Física do fim do século XIX — que abriu caminho para a emergência da teoria da relatividade. Uma das raízes dessa crise data do fim do século XVIII, quando diversos estudiosos da Filosofia da Natureza, e especialmente Leibniz, criticaram Newton por ter manido uma versão atualizada da concepção clássica do espaço absoluto.<sup>10</sup> Esses filósofos, embora nunca tenham sido completamente bem sucedidos, quase conseguiram demonstrar que movimentos e posições absolutos não tinham nenhuma função no sistema de Newton. Além disso, foram bem sucedidos ao sugerir o atrativo estético considerável que uma concepção plenamente relativista de espaço ou movimento teria no futuro. Tal como os primeiros copernicanos que cri-

ticaram as provas apresentadas por Aristóteles no tocante à estabilidade da Terra, não sonhavam que a transição para um sistema relativista pudesse ter consequências do ponto de vista da observação. Em nenhum momento relacionaram suas concepções com os problemas que se apresentavam quando da aplicação da teoria de Newton à natureza. Conseqüentemente, suas concepções desapareceram com eles, durante as primeiras décadas do século XVIII, resuscitando somente no final do século XIX já então dispondo de uma relação muito diversa com a prática da Física.

Os problemas técnicos com os quais uma teoria relativista do espaço teria de haver-se começaram a aparecer na ciência normal com a aceitação da teoria ondulatória por volta de 1815, embora não tenham produzido nenhuma crise antes da última década do século. Se a luz é um movimento ondulatório que se propaga num éter mecânico governado pelas leis de Newton, então tanto a observação celeste como as experiências terrestres tornam-se potencialmente capazes de detectar o deslocamento através do éter. Dentre as observações celestes, apenas as aberrantes prometiam apresentar suficiente exatidão, de molde a proporcionar informações relevantes. Devido a isso, a detecção de deslocamentos no éter através da medição das aberrações foi reconhecida como problema para a pesquisa normal. Muito equipamento especial foi construído para resolvê-lo. Contudo, tal equipamento não detectou nenhum deslocamento observável e em vista disso o problema foi transferido dos experimentadores e observadores para os teóricos. Durante décadas, no século XIX, Fresnel, Stokes e outros conceberam numerosas articulações da teoria do éter, destinadas a explicar o fracasso na observação do deslocamento. Todas essas articulações pressupunham que um corpo em movimento arrasta consigo algumas frações de éter. Cada uma dessas articulações obteve sucesso no esforço de explicar não só os resultados negativos da observação celeste, mas também os das experiências terrestres, incluindo-se aí a famosa experiência de Michelson e Morley.<sup>11</sup> Ainda não havia con-

9. H. GRENBLAG, *Lavoisier — the Crucial Year* (Ithaca, N. Y., 1961). O livro, todo documentado, a evolução e o primeiro reconhecimento de uma crise. Para uma apresentação clara da situação com relação a Lavoisier, ver p. 35.

10. JAMMER, Max, *Concepts of Space: The History of the Theories of Space in Physics*. (Cambridge, 1954), pp. 114-124.

11. LAMON, Joseph, *Aether and Matter ... Including a Discussion of the Influence of the Earth's Motion on Optical Phenomena*. (Cambridge, 1900), pp. 6-20 e 320-322.

fito, exceto entre as várias articulações. Na ausência de técnicas experimentais relevantes, esse conflito nunca chegou a aprofundar-se.

A situação modificou-se somente com a aceitação gradual da teoria eletromagnética de Maxwell, nas duas últimas décadas do século XIX. O próprio Maxwell era um newtoniano que acreditava que a luz e o eletromagnetismo em geral eram devidos a deslocamentos variáveis das partículas de um éter mecânico. Suas primeiras versões de uma teoria da electricidade e do magnetismo utilizaram expressamente as propriedades hipotéticas que ele atribuía a esse meio. Essas propriedades foram retiradas da versão final, mas Maxwell continuou acreditando que sua teoria eletromagnética era compatível com alguma articulação da concepção mecânica de Newton.<sup>12</sup> Desenvolver uma articulação adequada tornou-se um desafio para Maxwell e seus sucessores. Contudo, na prática, como aconteceu muitas vezes no curso do desenvolvimento científico, a articulação necessária revelou-se imensamente difícil de ser produzida. Do mesmo modo que a proposta astronômica de Copérnico (apesar do otimismo de seu autor) gerou uma crise cada vez maior nas teorias existentes sobre o movimento, a teoria de Maxwell, apesar de sua origem newtoniana, acabou produzindo uma crise no paradigma do qual emergira.<sup>13</sup> Além disso, a crise tornou-se mais aguda no tocante aos problemas que acabamos de considerar, isto é, aqueles relativos ao movimento no éter.

A discussão de Maxwell relacionada com o comportamento eletromagnético dos corpos em movimento não fez referência à resistência do éter e tornou muito difícil a introdução de tal noção na sua teoria. Como resultado, toda uma série de observações anteriores, destinadas a detectar o deslocamento através do éter, tornaram-se anômalas. Em consequência, os anos posteriores a 1890 testemunharam uma longa série de tentativas, tanto experimentais como teóricas, para detectar o movimento relacionado com o éter e introduzi-

12. R. T. Glazebrook, *James Clerk Maxwell and Modern Physics* (Londres, 1896), Cap. IX. Para a posição final de Maxwell, ver seu próprio livro, *A Treatise on Electricity and Magnetism* (3. ed. Oxford, 1892), p. 470.

13. A respeito do papel da Astronomia no desenvolvimento da Mecânica, ver KUHN, *op. cit.*, Cap. VII.

zir este último na teoria de Maxwell. Em geral, as primeiras tentativas foram mal sucedidas, embora alguns analistas considerassem seus resultados equívocos. Os esforços teóricos produziram uma série de pontos de partida promissores, sobretudo os de Lorentz e Fitzgeral, mas também estes trouxeram à tona novos quebra-cabeças. O resultado final foi precisamente aquela proliferação de teorias que mostramos ser concomitante com as crises.<sup>14</sup> Foi neste contexto histórico que, em 1905, emergiu a teoria especial da relatividade de Einstein.

Esses três exemplos são (quase) inteiramente típicos. Em cada um desses casos uma nova teoria surgiu somente após um fracasso caracterizado na atividade normal de resolução de problemas. Além disso, com exceção de Copérnico, em cujo caso fatores alheios à ciência desempenharam papel particularmente importante, o fracasso e a proliferação de teorias que os tornam manifestos ocorreram uma ou duas décadas antes do enunciado da nova teoria. Esta última parece ser uma resposta direta à crise. Note-se também que, embora isso possa não ser igualmente típico, os problemas com os quais está relacionado o fracasso eram todos de um tipo há muito identificado. A prática anterior da ciência normal proporcionara toda sorte de razões para considerá-los resolvidos ou quase resolvidos, o que ajuda a explicar por que o sentido de fracasso, quando aparece, pode ser tão intenso. O fracasso com um novo tipo de problema é muitas vezes decepcionante, mas nunca surpreendente. Em geral, nem os problemas, nem os quebra-cabeças cedem ao primeiro ataque. Finalmente esses exemplos partilham outra característica que pode reforçar a importância do papel da crise: a solução para cada um deles foi antecipada, pelo menos parcialmente, em um período no qual a ciência correspondente não estava em crise. Tais antecipações foram ignoradas, precisamente por não haver

A única antecipação completa é igualmente a mais famosa: a de Copérnico por Aristarco, no século III a.C. Afirma-se freqüentemente que se a ciência grega

14. WHITTAKER, *Op. cit.*, I, pp. 386-410 e II (Londres, 1953), pp. 27-40.

tivesse sido menos dedutiva e menos dominada por dogmas, a astronomia heliocêntrica poderia ter iniciado seu desenvolvimento dezoito séculos antes.<sup>15</sup> Mas isso equivale a ignorar todo o contexto histórico. Quando a sugestão de Aristarco foi feita, o sistema geocêntrico, que era muito mais razoável do que o heliocêntrico, não apresentava qualquer problema que pudesse ser solucionado por este último. Todo o desenvolvimento da astronomia ptolomaica, tanto seus triunfos, como seus fracassos, ocorrem nos séculos posteriores à proposta de Aristarco. Além disso, não havia razões óbvias para levar as propostas de Aristarco a sério. Mesmo a versão mais elaborada de Copérnico não era nem mais simples nem mais acurada do que o sistema de Ptolomeu. As observações disponíveis, que serviam de testes, não forneciam, como vemos essas teorias. Em tais circunstâncias, um dos fatores que levou os astrônomos a Copérnico (e que não poderia tê-los conduzido a Aristarco) foi a crise caracterizada que fora responsável pela inovação. A astronomia ptolomaica fracassara na resolução de seus problemas; chegara o momento de dar uma oportunidade a um competidor. Nossos outros dois exemplos não proporcionam antecipações tão completas. Entretanto, seguramente uma das razões pelas quais as teorias da combustão por absorção da atmosfera — desenvolvidas no século XVII por Rey, Hooke e Mayow — não conseguiram uma audiência satisfatória, foi por não disporem de contato com qualquer problema reconhecido pela prática científica normal.<sup>16</sup> O prolongado desinteresse demonstrado pelos cientistas dos séculos XVIII e XIX para com os críticos relativistas de Newton tem sido, em grande parte, devido a um fracasso semelhante na confrontação com a prática da ciência normal.

Os estudiosos da Filosofia da Ciência demonstraram repetidamente que mais de uma construção teóri-

15. Quanto à obra de Aristarco, ver T. I. HEINZ, *Aristarchus of Samos: The Ancient Copernicus* (Oxford, 1913), Parte II. Para uma apresentação crítica da atitude tradicional com respeito ao desdém pela realização de Aristarco, ver ARTHUR KOESTLER, *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe* (Londres, 1959), p. 50.

16. PARTINGTON, *Op. cit.*, pp. 78-85.

ca pode ser aplicada a um conjunto de dados determinado, qualquer que seja o caso considerado. A História da Ciência indica que, sobretudo nos primeiros estágios de desenvolvimento de um novo paradigma, não é muito difícil inventar tais alternativas. Mas essa invenção de alternativas é precisamente o que os cientistas raro empreendem, exceto durante o período pré-paradigmático do desenvolvimento de sua ciência e em ocasiões muito especiais de sua evolução subsequente. Enquanto os instrumentos proporcionados por um paradigma continuam capazes de resolver os problemas que este define, a ciência move-se com maior rapidez e aprofunda-se ainda mais através da utilização conflante desses instrumentos. A razão é clara. Na manufatura, como na ciência — a produção de novos instrumentos é uma extravagância reservada para as ocasiões que o exigem. O significado das crises consiste exatamente no fato de que indicaem que é chegada a ocasião para renovar os instrumentos.