

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.

6. AS CRISES E A EMERGÊNCIA DAS TEORIAS CIENTÍFICAS

Todas as descobertas examinadas no capítulo cinco causaram mudanças de paradigmas ou contribuiram 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 alterações 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 simila-

res, 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 pernanentemente 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 descoberta 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 paradigma 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 ptolomaica estava numa situação escandalosa antes dos trabalhos de Copérnico¹. As contribuições de Galileu ao estudo do movimento estão estreitamente relacionadas com as dificuldades descobertas na teoria aristotélica pelos críticos escolásticos². A nova teoria de Newton sobre a luz e a cor

1. A. R. Hall, *The Scientific Revolution, 1500-1800*, Londres, 1954, p. 16.

2. Marshall Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, Madison, Wisc., 1959, partes II e III. A. Koyré revela numerosos elementos

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 refração³. 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 negro⁴. Além disso, em todos esses casos, exceto no de Newton, a consciência da anomalia persistiu por tanto tempo e penetrara 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 pré-húlio 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 ptolomaico, foi admiravelmente bem sucedido na predição da mudança de posição das estrelas e dos planetas. Nenhum

medievais presentes no pensamento de Galileu em seus *Etudes Galiléennes*, Paris, 1939, especialmente no v. I.

3. A respeito de Newton, ver I. S. Kahn, "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 F. T. Whittaker, *A History of the Theories of Matter and Electricity*, 1. 2.ª ed., Londres, 1951, pp. 94-109, e W. Whewell, *History of the Inductive Sciences*, II, ed. rev., Londres, 1847, pp. 396-466.

4. Sobre a termodinâmica, ver Silvanus P. Thompson, *Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs*, I, Londres, 1910, pp. 266-281. Sobre a teoria dos quanta, ver Fritz Reiche, *The Quantum Theory*, trad. H. S. Hatfield e H. L. Brose, Londres, 1922, caps. I e II.

outro sistema antigo saíra-se tão bem: a astronomia ptolomaica 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 ptolomaico 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 outro⁵.

Tais dificuldades só foram reconhecidas muito lentamente, pois a tradição astronômica sofreu repetidas intervenções externas e por que, 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 consultado ao criar o universo, teria recebido bons conselhos. No século XVI, Domenico da Novara, colaborador de Copérnico, sustentou que nenhum sistema tão complicado e

impreciso como se tornara o ptolomaico 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 ptolomaico 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 crise⁶.

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 urgente o problema da precessão 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 permanecerá como o cerne da crise. Nenhuma 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 sobre a natureza, nem sobre a sua importância relativa.

5. I. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, 2.^a ed., Nova York, 1953, caps. XI e XIII.

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

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 (CO²) podia ser distinguido com precisão do ar normal, pensava-se que duas amostras de gás eram diferentes apenas no tocante a suas impurezas⁷.

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 desflogisticizar 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 pneumáticos⁸. Essa prolifera-

7. J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, 2.^a 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. Partington 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. 337-371.

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 incorpora alguns ingredientes da atmosfera. Mas para muitos outros cientistas da época essa conclusão pareceu 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 haveria de perder 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 assintação 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 problema 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? 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 estava perdendo gradualmente seu status imperante. Cada vez mais as investigações por ele orientadas assemblavam-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 mantido uma versão atualizada da concepção clássica do espaço absoluto⁹. 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 criticaram as provas apresentadas por Aristóteles no tocante à estabilidade da Terra, não sonhavam que a transição para um sistema relativista pudesse ter conseqüências 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, ressuscitando somente no final do século XIX quando já tinham uma relação muito diversa com a prática da física.

Os problemas técnicos com os quais uma teoria relativista do espaço teria de haver-se conegaram 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 aquelas de aberração prometiam apresentar suficiente exatidão de modo 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 as décadas centrais do século, 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 obtive 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

9. H. Guetlac, *Lavoisier — the Crucial Year*, Ithaca, Nova York, 1961.

O livro todo documenta a evolução e o princípio reconhecimento de uma crise. Para uma apresentação clara da situação com relação a Lavoisier, ver p. 35.

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

e Morley¹¹. Ainda não havia conflito, 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 eletricidade e do magnetismo utilizaram expressamente as propriedades hipotéticas que ele atribuiu 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 Newton¹². Desenvolver uma articulação adequada tornou-se um desafio para Maxwell e seus sucessores. Contudo, na prática, como acontecera 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 emergiria¹³. 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 deslo-

11. Joseph Larmor, *Neither and Neither... Includng a Discussion of the Influence of the Earth's Motion on Optical Phenomena*, Cambridge, 1900, pp. 6-20 e 320-322.

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

13. A respeito do papel da astronomia no desenvolvimento da mecânica, ver Kuhn, *op. cit.*, cap. VII.

camento através do éter tornou-se anômala. 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 introduzir 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 Fitzgerald, mas também estes trouxeram à tona novos quebra-cabeças. O resultado final foi precisamente aquela proliferação de teorias que mostramos ser concomitante com as crises¹⁴. 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 crise.

14. Whitaker, *op. cit.*, I, pp. 386-410 e II, Londres, 1953, pp. 27-40.

A única antecipação completa é igualmente a mais famosa: a de Copérnico por Aristarco, no século III a.C. Afirmar-se frequentemente que, se a ciência grega tivesse sido menos dedutiva e menos dominada por dogmas, a astronomia heliocêntrica poderia ter iniciado seu desenvolvimento dezoito séculos antes¹⁵. 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 adiante, base suficiente para uma escolha entre 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 normal¹⁶. 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 teórica 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 confiante desses instrumentos. A razão é clara. Na manufatura, como na ciência — a produção de novos instrumentos é uma extravagância reservada para as ocasiões que a exigem. O significado das crises consiste exatamente no fato de que indicam que é chegada a ocasião para renovar os instrumentos.

15. Quanto à obra de Aristarco, ver T. L. Heath, *Aristarchus of Samos: The Ancient Copernicus*, Oxford, 1913, parte II. Para uma apresentação extensiva 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. Paríngton, *op. cit.*, pp. 78-85.