

Título do original inglês:
The Structure of Scientific Revolutions

Copyright © 1962, 1970 by The University of Chicago

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Kuhn, Thomas S.
A estrutura das revoluções científicas / Thomas
S. Kuhn ; tradução Beatriz Vianna Boeira e Nelson
Boeira. — 9. ed. — São Paulo : Perspectiva, 2006.
— (Debates ; 115)

Título original: The structure of scientific revolutions.
Bibliografia.
ISBN 85-273-0111-3

1. Ciência - Filosofia 2. Ciência - História I. Título.
II. Série.

05-0699

CDD-509

Índices para catálogo sistemático:
1. Ciência : História 509

9ª edição

Direitos reservados em língua portuguesa à
EDITORIA PERSPECTIVA S.A.
Av. Brigadeiro Luís Antônio, 3025
01401-000 – São Paulo – SP – Brasil
Telefax: (0--11) 3885-8388
www.editoraperspectiva.com.br
2006

SUMÁRIO

Prefácio	9
Introdução: Um Papel para a História	19
1. A Rota para a Ciência Normal	29
2. A Natureza da Ciência Normal	43
3. A Ciência Normal como Resolução de Quebra-Cabeças	57
4. A Prioridade dos Paradigmas	67
5. A Anomalia e a Emergência das Descobertas Científicas	77
6. As Crises e a Emergência das Teorias Científicas ..	93
7. A Resposta à Crise	107
8. A Natureza e a Necessidade das Revoluções Científicas	125
9. As Revoluções como Mudanças de Concepção de Mundo	147
10. A Invisibilidade das Revoluções	175

INTRODUÇÃO: UM PAPEL PARA A HISTÓRIA

Se a história fosse vista como um repositório para algo mais do que anedotas ou cronologias, poderia produzir uma transformação decisiva na imagem de ciência que atualmente nos domina. Mesmo os próprios cientistas têm haurido essa imagem principalmente no estudo das realizações científicas acabadas, tal como estão registradas nos clássicos e, mais recentemente, nos manuais que cada nova geração utiliza para aprender seu ofício. Contudo, o objetivo de tais livros é inevitavelmente persuasivo e pedagógico; um conceito de ciência deles haurido terá tantas probabilidades de assemelhar-se ao empreendimento que os produziu como a imagem de uma cultura nacional obtida através de um folheto turístico ou um manual de línguas. Este ensaio tenta mostrar que esses livros nos têm enganado em aspectos fundamentais. Seu objetivo é esboçar um conceito de ciência bastante diverso que pode emergir dos registros históricos da própria atividade de pesquisa.

Contudo, mesmo se partirmos da história, esse novo conceito não surgirá se continuarmos a procurar e perscrutar os dados históricos sobretudo para responder a questões postas pelo estereótipo a-histórico extraído dos textos científicos. Por exemplo, esses textos freqüentemente parecem implicar que o conteúdo da ciência é exemplificado de maneira ímpar pelas observações, leis e teorias descritas em suas páginas. Com quase igual regularidade, os mesmos livros têm sido interpretados como se afirmassem que os métodos científicos são simplesmente aqueles ilustrados pelas técnicas de manipulação empregadas na coleta de dados de manuais, juntamente com as operações lógicas utilizadas ao relacionar esses dados às generalizações teóricas desses manuais. O resultado tem sido um conceito de ciência com implicações profundas no que diz respeito à sua natureza e desenvolvimento.

Se a ciência é a reunião de fatos, teorias e métodos reunidos nos textos atuais, então os cientistas são homens que, com ou sem sucesso, empenharam-se em contribuir com um ou outro elemento para essa constelação específica. O desenvolvimento torna-se o processo gradativo através do qual esses itens foram adicionados, isoladamente ou em combinação, ao estoque sempre crescente que constitui o conhecimento e a técnica científicos. E a história da ciência torna-se a disciplina que registra tanto esses aumentos sucessivos como os obstáculos que inibiram sua acumulação. Preocupado com o desenvolvimento científico, o historiador parece então ter duas tarefas principais. De um lado deve determinar quando e por quem cada fato, teoria ou lei científica contemporânea foi descoberta ou inventada. De outro lado, deve descrever e explicar os amontoados de erros, mitos e superstições que inibiram a acumulação mais rápida dos elementos constituintes do moderno texto científico. Muita pesquisa foi dirigida para esses fins e alguma ainda é.

Contudo, nos últimos anos, alguns historiadores estão encontrando mais e mais dificuldades para preencher as funções que lhes são prescritas pelo conceito de desenvolvimento-por-acumulação. Como cronistas de um processo de aumento, descobrem que a pesquisa adicional torna mais difícil (e não mais fácil) responder a perguntas como: quando foi descoberto o oxigênio? Quem foi o primeiro a conceber a

conservação da energia? Cada vez mais, alguns deles suspeitam de que esses simplesmente não são os tipos de questões a serem levantadas. Talvez a ciência não se desenvolva pela acumulação de descobertas e invenções individuais. Simultaneamente, esses mesmos historiadores confrontam-se com dificuldades crescentes para distinguir o componente "científico" das observações e crenças passadas daquilo que seus predecessores rotularam prontamente de "erro" e "superstição". Quanto mais cuidadosamente estudam, digamos, a dinâmica aristotélica, a química flogística ou a termodinâmica calórica, tanto mais certos tornam-se de que, como um todo, as concepções de natureza outrora correntes não eram nem menos científicas, nem menos o produto da idiossincrasia do que as atualmente em voga. Se essas crenças obsoletas devem ser chamadas de mitos, então os mitos podem ser produzidos pelos mesmos tipos de métodos e mantidos pelas mesmas razões que hoje conduzem ao conhecimento científico. Se, por outro lado, elas devem ser chamadas de ciências, então a ciência inclui conjuntos de crenças totalmente incompatíveis com as que hoje mantemos. Dadas essas alternativas, o historiador deve escolher a última. Teorias obsoletas não são em princípio a-científicas simplesmente porque foram descartadas. Contudo, esta escolha torna difícil conceber o desenvolvimento científico como um processo de acréscimo. A mesma pesquisa histórica, que mostra as dificuldades para isolar invenções e descobertas individuais, dá margem a profundas dúvidas a respeito do processo cumulativo que se empregou para pensar como teriam se formado essas contribuições individuais à ciência.

O resultado de todas essas dúvidas e dificuldades foi uma revolução historiográfica no estudo da ciência, embora essa revolução ainda esteja em seus primeiros estágios. Os historiadores da ciência, gradualmente e muitas vezes sem se aperceberem completamente de que o estavam fazendo, começaram a se colocar novas espécies de questões e a traçar linhas diferentes, freqüentemente não-cumulativas, de desenvolvimento para as ciências. Em vez de procurar as contribuições permanentes de uma ciência mais antiga para nossa perspectiva privilegiada, eles procuram apresentar a integridade histórica daquela ciência, a partir de sua própria época. Por

exemplo, perguntam não pela relação entre as concepções de Galileu e as da ciência moderna, mas antes pela relação entre as concepções de Galileu e aquelas partilhadas por seu grupo, isto é, seus professores, contemporâneos e sucessores imediatos nas ciências. Além disso, insistem em estudar as opiniões desse grupo e de outros similares a partir da perspectiva – usualmente muito diversa daquela da ciência moderna – que dá a essas opiniões o máximo de coerência interna e a maior adequação possível à natureza. Vista através das obras que daí resultaram, cujo melhor exemplo talvez sejam os escritos de Alexandre Koyré, a ciência não parece em absoluto ser o mesmo empreendimento que foi discutido pelos escritores da tradição historiográfica mais antiga. Pelo menos implicitamente, esses estudos históricos sugerem a possibilidade de uma nova imagem da ciência. Este ensaio visa delinear essa imagem ao tornar explícitas algumas das implicações da nova historiografia.

Que aspectos da ciência revelar-se-ão como proeminentes no desenrolar desse esforço? Em primeiro lugar, ao menos na ordem de apresentação, está a insuficiência das diretrizes metodológicas para ditarem, por si só, uma única conclusão substantiva para várias espécies de questões científicas. Tendo sido instruído para examinar fenômenos elétricos ou químicos, o homem que desconhece essas áreas, mas sabe como proceder cientificamente, pode atingir de modo legítimo qualquer uma dentre muitas conclusões incompatíveis. Entre essas possibilidades legítimas, as conclusões particulares a que ele chegar serão provavelmente determinadas por sua experiência prévia em outras áreas, por acidentes de sua investigação e por sua própria formação individual. Por exemplo, que crenças a respeito das estrelas ele traz para o estudo da química e da eletricidade? Dentre muitas experiências relevantes, quais ele escolhe para executar em primeiro lugar? Quais aspectos do fenômeno complexo que daí resulta o impressionam como particularmente relevantes para uma elucidação da natureza das transformações químicas ou das afinidades elétricas? Respostas a questões como essas são freqüentemente determinantes essenciais para o desenvolvimento científico, pelo menos para o indivíduo e ocasionalmente para a comunidade científica. Por exemplo, have-

remos de observar no capítulo um que os primeiros estágios do desenvolvimento da maioria das ciências têm se caracterizado pela contínua competição entre diversas concepções de natureza distintas; cada uma delas parcialmente derivada e todas apenas aproximadamente compatíveis com os ditames da observação e do método científico. O que diferenciou essas várias escolas não foi um ou outro insucesso do método – todas elas eram “científicas” – mas aquilo que chamaremos a incomensurabilidade de suas maneiras de ver o mundo e nele praticar a ciência. A observação e a experiência podem e devem restringir drasticamente a extensão das crenças admissíveis, porque de outro modo não haveria ciência. Mas não podem, por si só, determinar um conjunto específico de semelhantes crenças. Um elemento aparentemente arbitrário, composto de acidentes pessoais e históricos, é sempre um ingrediente formador das crenças esposadas por uma comunidade científica específica numa determinada época.

Contudo, esse elemento de arbitrariedade não indica que algum grupo possa praticar seu ofício sem um conjunto dado de crenças recebidas. E nem torna menos cheia de consequências a constelação particular com a qual o grupo está realmente comprometido num dado momento. A pesquisa eficaz raramente começa antes que uma comunidade científica pense ter adquirido respostas seguras para perguntas como as seguintes: Quais são as entidades fundamentais que compõem o universo? Como interagem essas entidades umas com as outras e com os sentidos? Que questões podem ser legitimamente feitas a respeito de tais entidades e que técnicas podem ser empregadas na busca de soluções? Ao menos nas ciências plenamente desenvolvidas, respostas (ou substitutos integrais para as respostas) a questões como essas estão firmemente engastadas na iniciação profissional que prepara e autoriza o estudante para a prática científica. Uma vez que essa educação é ao mesmo tempo rígida e rigorosa, essas respostas chegam a exercer uma influência profunda sobre o espírito científico. O fato de as respostas poderem ter esse papel auxilia-nos a dar conta tanto da eficiência peculiar da atividade de pesquisa normal, como da direção na qual essa prossegue em qualquer momento considerado. Ao examinar a ciência normal nos capítulos dois, três e quatro, buscare-

mos descrever essa forma de pesquisa como uma tentativa vigorosa e devotada de forçar a natureza a esquemas conceituais fornecidos pela educação profissional. Nós perguntaremos simultaneamente se a pesquisa poderia ter seguimento sem tais esquemas, qualquer que seja o elemento de arbitrariedade contido nas suas origens históricas e, ocasionalmente, no seu desenvolvimento posterior.

No entanto esse elemento de arbitrariedade está presente e tem também um efeito importante no desenvolvimento científico. Esse efeito será examinado detalhadamente nos capítulos cinco, seis e sete. A ciência normal, atividade na qual a maioria dos cientistas emprega inevitavelmente quase todo seu tempo, é baseada no pressuposto de que a comunidade científica sabe como é o mundo. Grande parte do sucesso do empreendimento deriva da disposição da comunidade para defender esse pressuposto — com custos consideráveis, se necessário. Por exemplo, a ciência normal frequentemente suprime novidades fundamentais, porque estas subvertem necessariamente seus compromissos básicos. Não obstante, na medida em que esses compromissos retêm um elemento de arbitrariedade, a própria natureza da pesquisa normal assegura que a novidade não será suprimida por muito tempo. Algumas vezes um problema comum, que deveria ser resolvido por meio de regras e procedimentos conhecidos, resiste ao ataque violento e reiterado dos membros mais hábeis do grupo em cuja área de competência ele ocorre. Em outras ocasiões, uma peça de equipamento, projetada e construída para fins de pesquisa normal, não funciona segundo a maneira antecipada, revelando uma anomalia que não pode ser ajustada às expectativas profissionais, não obstante esforços repetidos. Desta e de outras maneiras, a ciência normal desorienta-se seguidamente. E quando isto ocorre — isto é, quando os membros da profissão não podem mais esquivar-se das anomalias que subvertem a tradição existente da prática científica — então começam as investigações extraordinárias que finalmente conduzem a profissão a um novo conjunto de compromissos, a uma nova base para a prática da ciência. Os episódios extraordinários nos quais ocorre essa alteração de compromissos profissionais são denominados, neste ensaio, de revoluções científicas. Elas são os complementos

desintegradores da tradição à atividade da ciência normal, ligada à tradição.

Os exemplos mais óbvios de revoluções científicas são aqueles episódios famosos do desenvolvimento científico que, no passado, foram frequentemente rotulados de revoluções. Por isso, nos capítulos oito e nove, onde pela primeira vez a natureza das revoluções científicas é diretamente examinada, nos ocuparemos repetidamente com os momentos decisivos essenciais do desenvolvimento científico associado aos nomes de Copérnico, Newton, Lavoisier e Einstein. Mais claramente que muitos outros, esses episódios exibem aquilo que constitui todas as revoluções científicas, pelo menos no que concerne à história das ciências físicas. Cada um deles forçou a comunidade a rejeitar a teoria científica anteriormente aceita em favor de uma outra incompatível com aquela. Como consequência, cada um desses episódios produziu uma alteração nos problemas à disposição do escrutínio científico e nos padrões pelos quais a profissão determinava o que deveria ser considerado como um problema ou como uma solução de problema legítimo. Precisaremos descrever as maneiras pelas quais cada um desses episódios transformou a imaginação científica, apresentando-os como uma transformação do mundo no interior do qual era realizado o trabalho científico. Tais mudanças, juntamente com as controvérsias que quase sempre as acompanham, são características definidoras das revoluções científicas.

Tais características aparecem com particular clareza no estudo das revoluções newtoniana e química. Contudo, uma tese fundamental deste ensaio é que essas características podem ser igualmente recuperadas através do estudo de muitos outros episódios que não foram tão obviamente revolucionários. As equações de Maxwell, que afetaram um grupo profissional bem mais reduzido do que as de Einstein, foram consideradas tão revolucionárias como estas e como tal encontraram resistência. Regularmente e de maneira apropriada, a invenção de novas teorias evoca a mesma resposta por parte de alguns especialistas que vêem sua área de competência infringida por essas teorias. Para esses homens, a nova teoria implica uma mudança nas regras que governavam a prática anterior da ciência normal. Por isso, a nova teoria

repercuta inevitavelmente sobre muitos trabalhos científicos já concluídos com sucesso. É por isso que uma nova teoria, por mais particular que seja seu âmbito de aplicação, nunca ou quase nunca é um mero incremento ao que já é conhecido. Sua assimilação requer a reconstrução da teoria precedente e a reavaliação dos fatos anteriores. Esse processo intrinsecamente revolucionário raramente é completado por um único homem e nunca de um dia para o outro. Não é de admirar que os historiadores tenham encontrado dificuldades para datar com precisão este processo prolongado, ao qual, impelidos por seu vocabulário, vêem como um evento isolado.

Invenções de novas teorias não são os únicos acontecimentos científicos que têm um impacto revolucionário sobre os especialistas do setor em que ocorrem. Os compromissos que governam a ciência normal especificam não apenas as espécies de entidades que o universo contém, mas também, implicitamente, aquelas que não contém. Embora este ponto exija uma discussão prolongada, segue-se que uma descoberta como a do oxigênio ou do raio X não adiciona apenas mais um item à população do mundo do cientista. Esse é o efeito final da descoberta — mas somente depois de a comunidade profissional ter reavaliado os procedimentos experimentais tradicionais, alterado sua concepção a respeito de entidades com as quais estava de há muito familiarizada e, no decorrer desse processo, modificado a rede de teorias com as quais lida com o mundo. Teoria e fato científicos não são categoricamente separáveis, exceto talvez no interior de uma única tradição da prática científica normal. É por isso que uma descoberta inesperada não possui uma importância simplesmente fátual. O mundo do cientista é tanto qualitativamente transformado como quantitativamente enriquecido pelas novidades fundamentais de fatos ou teorias.

Esta concepção ampliada da natureza das revoluções científicas é delineada nas páginas seguintes. Não há dúvida de que esta ampliação força o sentido costumeiro da concepção. Não obstante, continuarei a falar até mesmo de descobertas como sendo revolucionárias. Para mim, o que faz a concepção ampliada tão importante é precisamente a possibilidade de relacionar a estrutura de tais descobertas com, por exemplo, aquela da revolução copernicana. A discussão

precedente indica como serão desenvolvidas as noções complementares de ciência normal e revolução científica nos nove capítulos imediatamente seguintes. O resto do ensaio tenta equacionar as três questões centrais que sobram. Ao discutir a tradição do manual, o capítulo dez examina por que as revoluções científicas têm sido tão dificilmente reconhecidas como tais. O capítulo onze descreve a competição revolucionária entre os defensores da velha tradição científica normal e os partidários da nova. Desse modo o capítulo examina o processo que, numa teoria da investigação científica, deveria substituir de algum modo os procedimentos de falsificação ou confirmação que a nossa imagem usual de ciência tornou familiares. A competição entre segmentos da comunidade científica é o único processo histórico que realmente resulta na rejeição de uma teoria ou na adoção de outra. Finalmente, o capítulo doze perguntará como o desenvolvimento através de revoluções pode ser compatível com o caráter aparentemente ímpar do progresso científico. Todavia, este ensaio não fornecerá mais do que os contornos principais de uma resposta a essa questão. Tal resposta depende das características da comunidade científica, assunto que requer muita exploração e estudo adicionais.

Sem dúvida alguns leitores já se terão perguntado se um estudo histórico poderá produzir o tipo de transformação conceitual que é visado aqui. Um arsenal inteiro de dicotomias está disponível, sugerindo que isso não pode ser adequadamente realizado dessa maneira. Dizemos muito freqüentemente que a história é uma disciplina puramente descritiva. Contudo, as teses sugeridas acima são freqüentemente interpretativas e, algumas vezes, normativas. Além disso, muitas de minhas generalizações dizem respeito à sociologia ou à psicologia social dos cientistas. Ainda assim, pelo menos algumas das minhas conclusões pertencem tradicionalmente à lógica ou à epistemologia. Pode até mesmo parecer que, no parágrafo anterior, eu tenha violado a muito influente distinção contemporânea entre o “contexto da descoberta” e o “contexto da justificação”. Pode algo mais do que profunda confusão estar indicado nessa mescla de diversas áreas e interesses?

Tendo me formado intelectualmente a partir dessas e de outras distinções semelhantes, dificilmente poderia estar mais consciente de sua importância e força. Por muitos anos tomei-as como sendo a própria natureza do conhecimento. Ainda suponho que, adequadamente reelaboradas, tenham algo importante a nos dizer. Todavia, muitas das minhas tentativas de aplicá-las, mesmo *grosso modo*, às situações reais nas quais o conhecimento é obtido, aceito e assimilado, fê-las parecer extraordinariamente problemáticas. Em vez de serem distinções lógicas ou metodológicas elementares, que seriam anteriores à análise do conhecimento científico, elas parecem agora ser partes de um conjunto tradicional de respostas substantivas às próprias questões a partir das quais elas foram elaboradas. Essa circularidade não as invalida de forma alguma. Mas torna-as parte de uma teoria e, ao fazer isso, sujeita-as ao mesmo escrutínio que é regularmente aplicado a teorias em outros campos. Para que elas tenham como conteúdo mais do que puras abstrações, esse conteúdo precisa ser descoberto através da observação. Examinar-se-ia então a aplicação dessas distinções aos dados que elas pretendem elucidar. Como poderia a história da ciência deixar de ser uma fonte de fenômenos, aos quais podemos exigir a aplicação das teorias sobre o conhecimento?

1. A ROTA PARA A CIÊNCIA NORMAL

Neste ensaio, “ciência normal” significa a pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas. Essas realizações são reconhecidas durante algum tempo por alguma comunidade científica específica como proporcionando os fundamentos para sua prática posterior. Embora raramente na sua forma original, hoje em dia essas realizações são relatadas pelos manuais científicos elementares e avançados. Tais livros expõem o corpo da teoria aceita, ilustram muitas (ou todas) as suas aplicações bem sucedidas e comparam essas aplicações com observações e experiências exemplares. Uma vez que tais livros se tornaram populares no começo do século XIX (e mesmo mais recentemente, como no caso das ciências amadurecidas há pouco), muitos dos clássicos famosos da ciência desempenham uma função similar. A *Física* de Aristóteles, o *Almagesto* de Ptolomeu, os *Principia* e a *Óptica* de Newton, a *Elettricidade* de Franklin, a *Química* de Lavoisier e a *Geologia* de Lyell – esses e muitos outros trabalhos serviram, por algum tempo,

tem ainda outras regras desse gênero, aceitas pelos cientistas em todas as épocas.

A existência dessa sólida rede de compromissos ou adesões — conceituais, teóricas, metodológicas e instrumentais — é fonte principal da metáfora que relaciona ciência normal a resolução de quebra-cabeças. Esses compromissos proporcionam ao praticante de uma especialidade amadurecida regras que lhe revelam a natureza do mundo e de sua ciência, permitindo-lhe assim concentrar-se com segurança nos problemas esotéricos definidos por tais regras e pelos conhecimentos existentes. Nessa situação, encontrar a solução de um quebra-cabeça residual constitui um desafio pessoal para o cientista. Nesse e noutros aspectos, uma discussão a respeito dos quebra-cabeças e regras permite esclarecer a natureza da prática científica normal. Contudo, de um outro ponto de vista, esse esclarecimento pode ser significativamente enganador. Embora obviamente existam regras às quais todos os praticantes de uma especialidade científica aderem em um determinado momento, essas regras não podem por si mesmas especificar tudo aquilo que a prática desses especialistas tem em comum. A ciência normal é uma atividade altamente determinada, mas não precisa ser inteiramente determinada por regras. É por isso que, no início deste ensaio, introduzi a noção de paradigmas compartilhados, ao invés das noções de regras, pressupostos e pontos de vistas compartilhados como sendo a fonte da coerência para as tradições da pesquisa normal. As regras, segundo minha sugestão, derivam de paradigmas, mas os paradigmas podem dirigir a pesquisa mesmo na ausência de regras.

4. A PRIORIDADE DOS PARADIGMAS

Para descobrir a relação existente entre regras, paradigmas e a ciência normal começaremos considerando a maneira pela qual o historiador isola os pontos específicos de compromissos que acabamos de descrever como sendo regras aceitas. A investigação histórica cuidadosa de uma determinada especialidade num determinado momento revela um conjunto de ilustrações recorrentes e quase padronizadas de diferentes teorias nas suas aplicações conceituais, instrumentais e na observação. Essas são os paradigmas da comunidade, revelados nos seus manuais, conferências e exercícios de laboratório. Ao estudá-los e utilizá-los na prática, os membros da comunidade considerada aprendem seu ofício. Não há dúvida de que além disso o historiador descobrirá uma área de penumbra ocupada por realizações cujo status ainda está em dúvida, mas habitualmente o núcleo dos problemas resolvidos e das técnicas será claro. Apesar das ambigüidades ocasionais, os paradigmas de uma comunidade científica amadurecida podem ser determinados com relativa facilidade.

Contudo, a determinação de paradigmas compartilhados não coincide com a determinação das regras comuns ao grupo. Isto exige uma segunda etapa, de natureza um tanto diferente. Ao empreendê-la, o historiador deve comparar entre si os paradigmas da comunidade e em seguida compará-los com os relatórios de pesquisa habituais do grupo. Com isso o historiador visa descobrir que elementos isoláveis, explícitos ou implícitos, os membros dessa comunidade podem ter *abstraido* de seus paradigmas mais globais, empregando-os depois em suas pesquisas. Quem quer que tenha tentado descrever ou analisar a evolução de uma tradição científica particular terá necessariamente procurado esse gênero de princípios e regras aceitos. Quase certamente, como mostra o capítulo anterior, terá tido um sucesso pelo menos parcial. Mas, se sua experiência se assemelha com a minha, a busca de regras revelar-se-á ao mesmo tempo mais difícil e menos satisfatória do que a busca de paradigmas. Algumas das generalizações que ele emprega para descrever as crenças comuns da comunidade não apresentarão problemas. Outras, contudo, inclusive algumas das utilizadas acima como ilustrações, parecerão um pouco forçadas. Enunciadas dessa maneira (ou em qualquer outra que o historiador possa imaginar), teriam sido rejeitadas quase certamente por alguns membros do grupo que ele estuda. Não obstante, se a coerência da tradição de pesquisa deve ser entendida em termos de regras, é necessário determinar um terreno comum na área correspondente. Em vista disso, a busca de um corpo de regras capaz de constituir uma tradição determinada da ciência normal torna-se uma fonte de frustração profunda e contínua.

Contudo, o reconhecimento dessa frustração torna possível diagnosticar sua origem. Cientistas podem concordar que um Newton, um Lavoisier, um Maxwell ou um Einstein produziram uma solução aparentemente duradoura para um grupo de problemas especialmente importantes e mesmo assim discordar, algumas vezes sem estarem conscientes disso, a respeito das características abstratas específicas que tornam essas soluções permanentes. Isto é, podem concordar na *identificação* de um paradigma, sem entretanto entrar num acordo (ou mesmo tentar obtê-lo) quanto a uma *inter-*

pretação ou *racionalização* completa a respeito daquele. A falta de uma interpretação padronizada ou de uma redução a regras que goze de unanimidade não impede que um paradigma oriente a pesquisa. A ciência normal pode ser parcialmente determinada através da inspeção direta dos paradigmas. Esse processo é freqüentemente auxiliado pela formulação de regras e suposições, mas não depende dela. Na verdade, a existência de um paradigma nem mesmo precisa implicar a existência de qualquer conjunto completo de regras¹.

O primeiro resultado dessas afirmações é inevitavelmente o de levantar problemas. Na ausência de um corpo adequado de regras, o que limita o cientista a uma tradição específica da ciência normal? O que pode significar a expressão "inspeção direta dos paradigmas"? Respostas parciais a questões desse tipo foram desenvolvidas por Ludwig Wittgenstein, embora num contexto bastante diverso. Já que esse contexto é ao mesmo tempo mais elementar e mais familiar, será conveniente examinar primeiramente a forma em que a argumentação é apresentada. Que precisamos saber, perguntava Wittgenstein, para utilizar termos como "cadeira", "folha" ou "jogo" de uma maneira inequívoca e sem provocar discussões?²

Tal questão é muito antiga. Geralmente a respondemos afirmando que sabemos, intuitiva ou conscientemente, o que é uma cadeira, uma folha ou um jogo. Isto é, precisamos captar um determinado conjunto de atributos comuns a todos os jogos (e somente aos jogos). Contudo, Wittgenstein concluiu que, dada a maneira pela qual usamos a linguagem e o tipo de mundo ao qual a aplicamos, tal conjunto de carac-

1. Michael Polanyi desenvolveu brilhantemente um tema muito similar, argumentando que muito do sucesso do cientista depende do "conhecimento tácito", isto é, do conhecimento adquirido através da prática e que não pode ser articulado explicitamente. Ver seu *Personal Knowledge*, Chicago, 1958, especialmente os caps. V e VI.

2. Ludwig Wittgenstein. *Philosophical Investigations*, trad. G. E. M. Anscombe, Nova York, 1953, pp. 31-36. Contudo, Wittgenstein não diz quase nada a respeito do mundo que é necessário para sustentar o procedimento de denominação (*naming*) que ele delineia. Parte da argumentação que se segue não pode ser atribuída a ele.

terísticas não é necessário. Embora a discussão de *alguns* atributos comuns a um *certo número* de jogos, cadeiras ou folhas freqüentemente nos auxilie a aprender a empregar o termo correspondente, não existe nenhum conjunto de características que seja simultaneamente aplicável a todos os membros da classe e somente a eles. Em vez disso, quando confrontados com uma atividade previamente desconhecida, aplicamos o termo “jogo” porque o que estamos vendo possui uma grande “semelhança de família” com uma série de atividades que aprendemos anteriormente a chamar por esse nome. Em suma, para Wittgenstein, jogos, cadeiras e folhas são famílias naturais, cada uma delas constituída por uma rede de semelhanças que se superpõem e se entrecruzam. A existência de tal rede explica suficientemente o nosso sucesso na identificação da atividade ou objeto correspondente. Somente se as famílias que nomeamos se superpussem ou se mesclassem gradualmente umas com as outras – isto é, somente se não houvessem famílias *naturais* – o nosso sucesso em identificar e nomear provaria que existe um conjunto de características comuns correspondendo a cada um dos nomes das classes que empregamos.

Algo semelhante pode valer para os vários problemas e técnicas de pesquisa que surgem numa tradição específica da ciência normal. O que têm em comum não é o fato de satisfazer as exigências de algum conjunto de regras, explícito ou passível de uma descoberta completa – conjunto que dá à tradição o seu caráter e a sua autoridade sobre o espírito científico. Em lugar disso, podem relacionar-se por semelhança ou modelando-se numa ou noutra parte do *corpus* científico que a comunidade em questão já reconhece como uma de suas realizações confirmadas. Os cientistas trabalham a partir de modelos adquiridos através da educação ou da literatura a que são expostos subseqüentemente, muitas vezes sem conhecer ou precisar conhecer quais as características que proporcionaram o status de paradigma comunitário a esses modelos. Por atuarem assim, os cientistas não necessitam de um conjunto completo de regras. A coerência da tradição de pesquisa da qual participam não precisa nem mesmo implicar a existência de um corpo subjacente de regras e pressupostos, que poderia ser revelado por investigações históricas

ou filosóficas adicionais. O fato de os cientistas usualmente não perguntarem ou debaterem a respeito do que faz com que um problema ou uma solução particular sejam considerados legítimos nos leva a supor que, pelo menos intuitivamente, eles conhecem a resposta. Mas esse fato pode indicar tão-somente que nem a questão nem a resposta são consideradas relevantes para suas pesquisas. Os paradigmas podem ser anteriores, mais cogentes e mais completos que qualquer conjunto de regras para a pesquisa que deles possa ser claramente abstraído.

Até aqui nossa análise tem sido puramente teórica: os paradigmas *poderiam* determinar a ciência normal sem a intervenção de regras que podem ser descobertas. Tentarei agora aumentar tanto a sua clareza como a sua importância, indicando algumas das razões que temos para acreditar que os paradigmas realmente operam dessa maneira. A primeira delas, que já foi amplamente discutida, refere-se à grande dificuldade que encontramos para descobrir as regras que guiaram tradições específicas da ciência normal. Essa dificuldade é aproximadamente idêntica à encontrada pelo filósofo que tenta determinar o que é comum a todos os jogos. A segunda, da qual a primeira não passa de um corolário, baseia-se na natureza da educação científica. A esta altura deveria estar claro que os cientistas nunca aprendem conceitos, leis e teorias de uma forma abstrata e isoladamente. Em lugar disso, esses instrumentos intelectuais são, desde o início, encontrados numa unidade histórica e pedagogicamente anterior, onde são apresentados juntamente com suas aplicações e através delas. Uma nova teoria é sempre anunciada juntamente com suas aplicações a uma determinada gama concreta de fenômenos naturais; sem elas não poderia nem mesmo candidatar-se à aceitação científica. Depois de aceitas, essas aplicações (ou mesmo outras) acompanharão a teoria nos manuais onde os futuros cientistas aprenderão seu ofício. As aplicações não estão lá simplesmente como um adorno ou mesmo como documentação. Ao contrário, o processo de aprendizado de uma teoria depende do estudo das aplicações, incluindo-se aí a prática na resolução de problemas, seja com lápis e papel, seja com instrumentos num laboratório. Se, por exemplo, o estudioso da dinâmica

newtoniana descobrir o significado de termos como “força”, “massa”, “espaço” e “tempo”, será menos porque utilizou as definições incompletas (embora algumas vezes úteis) do seu manual, do que por ter observado e participado da aplicação desses conceitos à resolução de problemas.

Esse processo de aprendizagem através de exercícios com papel e lápis ou através da prática contínua durante todo o processo de iniciação profissional. Na medida em que o estudante progride de seu primeiro ano de estudos em direção à sua tese de doutoramento, os problemas a enfrentar tomam-se mais complexos, ao mesmo tempo em que diminui o número dos precedentes que poderiam orientar seu estudo. Mas, mesmo assim, esses problemas continuam a moldar-se rigorosamente de acordo com as realizações científicas anteriores, o mesmo acontecendo com os problemas que normalmente o ocuparão durante sua carreira científica posterior, levada a cabo independentemente. Pode-se supor que em algum momento de sua formação o cientista abstraiu intuitivamente as regras do jogo para seu próprio uso – mas temos poucas razões para crer nisso. Embora muitos cientistas falem com facilidade e brilho a respeito das hipóteses individuais que subjazem numa determinada pesquisa em andamento, não estão em melhor situação que o leigo quando se trata de caracterizar as bases estabelecidas do seu campo de estudos, seus problemas e métodos legítimos. Se os cientistas chegam a aprender tais abstrações, demonstram-no através de sua habilidade para realizar pesquisas bem sucedidas. Contudo, essa habilidade pode ser entendida sem recurso às regras hipotéticas do jogo.

Essas consequências da educação científica possuem uma recíproca que nos proporciona uma terceira razão para supormos que os paradigmas orientam as pesquisas, seja modelando-as diretamente, seja através de regras abstratas. A ciência normal pode avançar sem regras somente enquanto a comunidade científica relevante aceitar sem questionar as soluções de problemas particularmente já obtidas. Por conseguinte, as regras deveriam assumir importância e a falta de interesse que as cerca deveria desvanecer-se sempre que os paradigmas ou modelos pareçam inseguros. É exatamente isso que ocorre. O período pré-paradigmático, em particu-

lar, é regularmente marcado por debates frequentes e profundos a respeito de métodos, problemas e padrões de solução legítimos – embora esses debates sirvam mais para definir escolas do que para produzir um acordo. Já apresentamos algumas dessas discussões na óptica e na eletricidade e mostramos como desempenharam um papel ainda mais importante no desenvolvimento da química do século XVII e na geologia do século XIX³. Além disso, debates dessa natureza não desaparecem de uma vez por todas com o surgimento do paradigma. Embora eles quase não existam durante os períodos de ciência normal, ocorrem periodicamente pouco antes e durante as revoluções científicas – os períodos durante os quais os paradigmas são primeiramente atacados e então modificados. A transição da mecânica newtoniana para a quântica evocou muitos debates a respeito da natureza e dos padrões da física, alguns dos quais continuam até hoje⁴. Ainda hoje existem cientistas que podem recordar discussões semelhantes, engendradas pela teoria eletromagnética de Maxwell e pela mecânica estatística⁵. E, bem antes disso, a assimilação das mecânicas de Galileu e Newton originou uma série de debates particularmente famosos entre os aristotélicos, cartesianos e leibnizianos acerca das normas legítimas para a ciência⁶. Quando os cientistas

3. No tocante à química, ver H. Metzger, *Les doctrines chimiques en France du début du XVII.^e à la fin du XVIII.^e siècle*, Paris, 1923, pp. 24-27, 146-149; e Marie Boas, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry*, Cambridge, 1958, cap. II. Para a geologia, ver Walter F. Cannon, “The Uniformitarian-Catastrophist Debate”, *Isis*, LI, 1960, pp. 38-55; e C. C. Gillispie, *Genesis and Geology*, Cambridge, Mass., 1951, caps. IV-V.

4. No que diz respeito à mecânica quântica, ver Jean Ullmo, *La crise de la Physique quantique*, Paris, 1950, cap. II.

5. Sobre a mecânica estatística, ver René Dugas, *La théorie physique au sens de Boltzmann et ses prolongements modernes*, Neuchâtel, 1959, pp. 158-184, 206-219. No tocante à recepção obtida pelos trabalhos de Maxwell, ver Max Planck, “Maxwell’s Influence in Germany”, em *James Clerk Maxwell: A Commemoration Volume, 1831-1931*, Cambridge, 1931, pp. 45-65 e especialmente pp. 58-63; Silvanus P. Thompson, *The Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs*, II, Londres, 1910, pp. 1021-1027.

6. Para uma amostra da luta contra os aristotélicos, ver A. Koyré, “A Documentary History of the Problem of Fall from Kepler to Newton”, *Transactions of the American Philosophical Society*, XLV, 1955, pp. 329-395.

não estão de acordo sobre a existência ou não de soluções para os problemas fundamentais de sua área de estudos, então a busca de regras adquire uma função que não possui normalmente. Contudo, enquanto os paradigmas permanecem seguros, eles podem funcionar sem que haja necessidade de um acordo sobre as razões de seu emprego ou mesmo sem qualquer tentativa de racionalização.

Podemos concluir este capítulo apresentando uma quarta razão que nos permite atribuir uma prioridade aos paradigmas, quando comparados com as regras e pressupostos partilhados por um grupo científico. A introdução deste ensaio sugere a existência de revoluções grandes e pequenas, algumas afetando apenas os estudiosos de uma subdivisão de um campo de estudos. Para tais grupos, até mesmo a descoberta de um fenômeno novo e inesperado pode ser revolucionária. O próximo capítulo examinará alguns exemplos desse tipo de revolução – mas ainda não sabemos como se produzem. Se a ciência normal é tão rígida e as comunidades científicas tão estreitamente entrelaçadas como a exposição precedente dá a entender, como pode uma mudança de paradigma afetar apenas um pequeno subgrupo? O que foi dito até aqui parece implicar que a ciência normal é um empreendimento único, monolítico e unificado que deve persistir ou desaparecer, seja com algum de seus paradigmas, seja com o conjunto deles. Mas é óbvio que a ciência raramente (ou nunca) procede dessa maneira. Frequentemente, se considerarmos todos seus campos, assemelha-se a uma estrutura bastante instável, sem coerência entre suas partes. Entretanto, nada do que foi afirmado até agora opõe-se necessariamente a esta observação tão familiar. Ao contrário, a substituição de paradigmas por regras deveria facilitar a compreensão da diversidade de campos e especializações científicas. As regras explícitas, quando existem, em geral são comuns a um grupo científico bastante amplo – algo que não precisa ocorrer com os paradigmas. Aqueles que trabalham em campos

Para os debates com os cartesianos e leibnizianos, ver Pierre Brünnet, *L'Introduction des théories de Newton en France au XVIII.^e siècle*, Paris, 1931; A. Koyré, *From the Closed World to the Infinite Universe*, Baltimore, 1957, cap. XI.

de estudo muito afastados, como, por exemplo, a astronomia e a botânica taxionômica, recebem sua educação no contato com realizações científicas bastante diversas, descritas em livros de natureza muito distinta. Mesmo os que, trabalhando no mesmo campo de estudos ou em campos estreitamente relacionados, começam seus estudos por livros e realizações científicas idênticos, podem adquirir paradigmas bastante diferentes no curso de sua especialização profissional.

Examinemos, por exemplo, a comunidade ampla e diversificada constituída por todos os físicos. Atualmente cada membro desse grupo aprende determinadas leis (por exemplo, as da mecânica quântica), e a maior parte deles as empregam em algum momento de suas pesquisas ou tarefas didáticas. Mas nem todos aprendem as mesmas aplicações dessas leis e por isso não são afetados da mesma maneira pelas mudanças na prática da mecânica quântica. No curso de sua especialização profissional, alguns físicos entram em contato apenas com os princípios básicos da mecânica quântica. Outros estudam detalhadamente as aplicações paradigmáticas desses princípios à química, ainda outros à física do estado sólido e assim por diante. O significado que a mecânica quântica possui para cada um deles depende dos cursos frequentados, dos textos lidos e dos periódicos estudados. Conclui-se daí que, embora uma modificação nas leis mecânico-quânticas seja revolucionária para todos esses grupos, uma modificação que reflete apenas uma ou outra aplicação do paradigma será revolucionária somente para os membros de uma subespecialidade profissional específica. Para o restante dos especialistas e praticantes de outras ciências físicas esta modificação não precisa necessariamente ser revolucionária. Em suma, embora a mecânica quântica (ou a dinâmica newtoniana ou a teoria eletromagnética) seja um paradigma para muitos grupos científicos, não é o mesmo paradigma em todos esses casos. Por isso pode dar origem simultaneamente a diversas tradições da ciência normal que coincidem parcialmente, sem serem coexistentes. Uma revolução produzida no interior de uma dessas tradições não se estenderá necessariamente às outras.

Uma breve ilustração dos efeitos da especialização reforçará essa série de argumentos. Um investigador, que

esperava aprender algo a respeito do que os cientistas consideram ser a teoria atômica, perguntou a um físico e a um químico eminentes se um único átomo de hélio era ou não uma molécula. Ambos responderam sem hesitação, mas suas respostas não coincidiram. Para o químico, o átomo do hélio era uma molécula porque se comportava como tal desde o ponto de vista da teoria cinética dos gases. Para o físico, o hélio não era uma molécula porque não apresentava um espectro molecular⁷. Podemos supor que ambos falavam da mesma partícula, mas a encaravam a partir de suas respectivas formações e práticas de pesquisa. Suas experiências na resolução de problemas indicaram-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 avançarmos na nossa análise, veremos quão cheias de consequências 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 seu trabalho, "The Vernacular of the Laboratory", *Philosophy of Science*, XXV, 1958, pp. 163-168.

5. A ANOMALIA E A EMERGÊNCIA DAS DESCOBERTAS CIENTÍFICAS

A ciência normal, atividade que consiste em solucionar quebra-cabeças, é um empreendimento altamente 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 científico. A ciência normal não se propõe descobrir novidades no terreno dos fatos ou da teoria; quando é bem sucedida, não as encontra. Entretanto, fenômenos novos e insuspeitados são periodicamente descobertos pela 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

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 contribuíram 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 categórica 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 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, Wis., 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 persistira 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 prelúdio para uma busca de novas regras.

Começemos 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 T. S. Kuhn, "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. 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 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 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 premente 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 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 sobre a natureza, nem sobre a sua importância relativa.

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

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 equívocas 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 (CO_2) 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 desflogitizar 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-

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 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 problema do

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.

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 1772.⁹ 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 solução⁹. 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 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 mantido uma versão atualizada da concepção clássica do espaço absoluto¹⁰. 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 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 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 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

9. H. Guerlac, *Lavoisier – the Crucial Year*, Ithaca, Nova York, 1961. O livro todo documenta a evolução e o primeiro 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 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 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 emergira¹³. 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-

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 proporecionara 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.

11. Joseph Larmor, *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.

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.^a ed., Oxford, 1892, p. 470.

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

14. Whittaker, *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. Afirmam-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 veremos 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

15. Quanto à obra de Aristarco, ver T. L. Herth, *Aristarchus of Samos: The Ancient Copernicus*, Oxford, 1913, parte II. Para uma apresentação extrema 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.

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.

7. A RESPOSTA À CRISE

Suponhamos que as crises são uma pré-condição necessária para a emergência de novas teorias e perguntemos então como os cientistas respondem à sua existência. Parte da resposta, tão óbvio como importante, pode ser descoberta observando-se primeiramente o que os cientistas jamais fazem, mesmo quando se defrontam com anomalias prolongadas e graves. Embora possam começar a perder sua fé e a considerar outras alternativas, não renunciam ao paradigma que os conduziu à crise. Por outra: não tratam as anomalias como contra-exemplos do paradigma, embora, segundo o vocabulário da filosofia da ciência, estas sejam precisamente isso. Em parte, essa nossa generalização é um fato histórico, baseada em exemplos como os mencionados anteriormente e os que indicaremos mais adiante. Isso já sugere o que o nosso exame da rejeição de um paradigma revelará de uma maneira mais clara e completa: uma teoria científica, após ter atingido o status de paradigma, somente é considerada inválida quando existe uma alternativa disponível para

substituí-la. Nenhum processo descoberto até agora pelo estudo histórico do desenvolvimento científico assemelha-se ao estereótipo metodológico da falsificação por meio da comparação direta com a natureza. Essa observação não significa que os cientistas não rejeitem teorias científicas ou que a experiência e a experimentação não sejam essenciais ao processo de rejeição, mas que — e este será um ponto central — o juízo que leva os cientistas a rejeitarem uma teoria previamente aceita baseia-se sempre em algo mais do que essa comparação da teoria com o mundo. Decidir rejeitar um paradigma é sempre decidir simultaneamente aceitar outro e o juízo que conduz a essa decisão envolve a comparação de ambos os paradigmas com a natureza, *bem como* sua comparação mútua.

A par disso, existe uma segunda razão para duvidar de que os cientistas rejeitem paradigmas simplesmente porque se defrontam com anomalias ou contra-exemplos. Ao apresentar essa segunda razão, delinearei outra das principais teses deste ensaio. As razões para a dúvida esboçadas acima eram puramente fatuais; isto é, eram, elas mesmas, contra-exemplos de uma teoria epistemológica atualmente admitida. Como tal, se meu argumento é correto, tais razões podem, quando muito, ajudar a formação de uma crise ou, mais exatamente, reforçar alguma já existente. Por si mesmas não podem e não irão falsificar essa teoria filosófica, pois os defensores desta farão o mesmo que os cientistas fazem quando confrontados com anomalias: conceberão numerosas articulações e modificações *ad hoc* de sua teoria, a fim de eliminar qualquer conflito aparente. Muitas das modificações e especificações relevantes já estão presentes na literatura. Portanto, se esses contra-exemplos epistemológicos constituem algo mais do que uma fonte de irritação de menor importância, será porque ajudam a admitir a emergência de uma nova e diferente análise da ciência, no interior da qual já não são uma fonte de problemas. Além disso, se é possível aplicar aqui um padrão típico (que será observado mais adiante nas revoluções científicas), tais anomalias não mais parecerão ser simples fatos. Ao invés disso, no interior de uma nova teoria do conhecimento científico, poderão assemelhar-se a tautologias, enunciados de situações que de outro modo não seriam concebíveis.

Por exemplo, tem-se observado com frequência que a segunda lei do movimento de Newton, embora tenha consumido séculos de difíceis pesquisas teóricas e fatuais até ser alcançada, desempenha para os partidários da teoria newtoniana um papel muito semelhante a um enunciado puramente lógico, que não pode ser refutado por observações, por amplas que estas sejam¹. No capítulo nove veremos que a lei química relativa às proporções constantes, que antes de Dalton era uma descoberta experimental ocasional dotada de uma generalidade muito duvidosa, tornou-se após seus trabalhos um ingrediente de uma definição de composto químico que nenhuma investigação experimental poderia, por si só, abalar. Algo muito semelhante acontecerá com a generalização segundo a qual os cientistas não rejeitam paradigmas quando confrontados com anomalias ou contra-exemplos. Não poderiam fazer isso e ainda assim permanecerem cientistas.

Embora seja improvável que a história registre seus nomes, indubitavelmente alguns homens foram levados a abandonar a ciência devido à sua inabilidade para tolerar crises. Tal como os artistas, os cientistas criadores precisam, em determinadas ocasiões, ser capazes de viver em um mundo desordenado — descrevi em outro trabalho essa necessidade como “a tensão essencial” implícita na pesquisa científica². Mas creio que essa rejeição da ciência em favor de outra ocupação é a única espécie de rejeição de paradigma a que, por si mesmos, podem conduzir os contra-exemplos. Uma vez encontrado um primeiro paradigma com o qual conceber a natureza, já não se pode mais falar em pesquisa sem qualquer paradigma. Rejeitar um paradigma sem simultaneamente substituí-lo por outro é rejeitar a própria ciência. Esse ato

1. Ver especialmente a discussão contida em N. R. Hanson, *Patterns of Discovery*, Cambridge, 1958, pp. 99-105.

2. T. S. Kuhn, “The Essential Tension: Tradition and Innovation in Scientific Research”, em *The Third (1959) University of Utah Research Conference on the Identification of Creative Scientific Talent*, ed. Calvin W. Taylor, Salt Lake City, 1959, pp. 162-177. Para um fenômeno comparável entre artistas, ver Frank Barron, “The Psychology of Imagination”, *Scientific American*, CXCI, set. 1958, pp. 151-166, esp. p. 160.

se reflete não no paradigma mas no homem. Inevitavelmente ele será visto por seus colegas como o “carpinteiro que culpa suas ferramentas pelo seu fracasso”.

Pode-se, de maneira pelo menos igualmente eficaz, demonstrar o mesmo ponto de vista ao contrário: não existe algo como a pesquisa sem contra-exemplos. O que diferencia a ciência normal da ciência em estado de crise? Certamente não o fato de que a primeira não se defronta com contra-exemplos. Ao invés disso, o que chamamos acima de quebra-cabeças da ciência normal existe somente porque nenhum paradigma aceito como base para a pesquisa científica resolve todos os seus problemas. Os raros paradigmas que pareciam capazes disso (por exemplo, a óptica geométrica) em pouco tempo deixaram de produzir quaisquer problemas relevantes para a pesquisa. Em vez disso, tornaram-se instrumentos para tarefas técnicas. Excetuando-se os que são exclusivamente instrumentais, cada problema que a ciência normal considera um quebra-cabeça pode ser visto de outro ângulo: como contra-exemplos e portanto como uma fonte de crise. Copérnico considerou contra-exemplos o que a maioria dos demais seguidores de Ptolomeu vira como quebra-cabeças relativos à adequação entre a observação e a teoria. Lavoisier considerou contra-exemplo o que Priestley vira como um quebra-cabeça resolvido com êxito na articulação da teoria flogística. Einstein viu como contra-exemplos o que Lorentz, Fitzgerald e outros haviam considerado como quebra-cabeças relativos à articulação das teorias de Newton e Maxwell. Além disso, nem mesmo a existência de uma crise transforma por si mesma um quebra-cabeça em um contra-exemplo. Não existe uma linha divisória precisa. Em vez disso, a crise, ao provocar uma proliferação de versões do paradigma, enfraquece as regras de resolução dos quebra-cabeças da ciência normal, de tal modo que acaba permitindo a emergência de um novo paradigma. Creio que existem apenas duas alternativas: ou bem as teorias científicas jamais se defrontam com um contra-exemplo, ou bem essas teorias se defrontam constantemente com contra-exemplos.

Como se poderia considerar essa situação diferentemente? Essa questão leva necessariamente à elucidação crítica e histórica da filosofia e tais tópicos não têm lugar neste en-

saio. Mas podemos, ao menos, indicar duas razões pelas quais a ciência parece ter fornecido um exemplo tão adequado da generalização segundo a qual a verdade e a falsidade são determinadas de modo inequívoco pela confrontação do enunciado com os fatos. A ciência normal esforça-se (e deve fazê-lo constantemente) para aproximar sempre mais a teoria e os fatos. Essa atividade pode ser vista como um teste ou uma busca de confirmação ou falsificação. Em lugar disso, seu objeto consiste em resolver um quebra-cabeça, cuja simples existência supõe a validade do paradigma. O fracasso em alcançar uma solução desacredita somente o cientista e não a teoria. A este caso, ainda mais do que ao anterior, aplica-se o provérbio: “Quem culpa suas ferramentas é mau carpinteiro”. Além disso, a maneira pela qual a pedagogia da ciência complica a discussão de uma teoria com observações sobre suas aplicações exemplares tem contribuído para reforçar uma teoria da confirmação extraída predominantemente de outras fontes. Dada uma razão para fazê-lo, por superficial que seja, aquele que lê um texto científico facilmente poderá considerar as aplicações como provas em favor da teoria, razões pelas quais devemos acreditar nela. Mas os estudantes de ciência aceitam as teorias por causa da autoridade do professor e dos textos e não devido às provas. Que alternativas, que competência possuem eles? As aplicações mencionadas nos textos não são apresentadas como provas, mas porque aprendê-las é parte do aprendizado do paradigma que serve de base para a prática científica em vigor. Se as aplicações fossem apresentadas como provas, o próprio fracasso dos textos em sugerir interpretações alternativas ou discutir problemas para os quais os cientistas não conseguiram produzir soluções paradigmáticas, condenariam seus autores como sendo extremamente parciais. Não existe a menor razão para semelhante acusação.

Como, então – retornando à questão inicial –, os cientistas respondem à consciência da existência de uma anomalia na adequação entre a teoria e a natureza? O que acaba de ser dito indica que mesmo uma discrepância inexplicavelmente maior que a experimentada em outras aplicações da teoria não precisa provocar nenhuma resposta muito profunda. Sempre existem algumas discrepâncias. Mesmo as mais obs-

tinadas acabam cedendo aos esforços da prática normal. Muito freqüentemente os cientistas estão dispostos a esperar, especialmente quando existem muitos problemas disponíveis em outros setores do campo de estudos. Por exemplo, já indicamos que durante os sessenta anos que se seguiram aos cálculos originais de Newton, o movimento predito para o perigeu da Lua permaneceu equivalente à metade do movimento observado. Enquanto os melhores físicos matemáticos da Europa continuavam a lutar sem êxito com essa conhecida discrepância, apareceram propostas ocasionais visando à modificação da lei newtoniana relativa ao inverso do quadrado das distâncias. Mas ninguém levou tais propostas muito a sério e na prática essa paciência com uma importante anomalia demonstrou ser justificada. Em 1750, Clairaut conseguiu mostrar que somente a matemática utilizada na aplicação estava errada e que a teoria newtoniana poderia ser mantida inalterada³. Mesmo nos casos em que nem mesmo erros simples parecem possíveis, (talvez porque a matemática envolvida seja mais simples ou de um tipo familiar, empregada com bons resultados em outras áreas), uma anomalia reconhecida e persistente nem sempre leva a uma crise. Ninguém questionou seriamente a teoria newtoniana por causa das discrepâncias de há muito reconhecidas entre as predições daquela teoria e as velocidades do som e do movimento de Mercúrio. A primeira dessas discrepâncias acabou sendo resolvida de maneira inesperada pelas experiências sobre o calor, empreendidas com um objetivo bem diverso; a segunda desapareceu com a teoria geral da relatividade, após uma crise que não ajudara a criar⁴. Aparentemente nenhuma das discrepâncias pareceu suficientemente fundamental para evocar o mal-estar que acompanha uma crise. Puderam ser consideradas como contra-exemplos e mesmo assim serem deixadas de lado para um exame posterior.

3. W. Whewell, *History of the Inductive Sciences*, II, ed. rev., Londres, 1847, pp. 220-221.

4. No tocante à velocidade do som, ver T. S. Kuhn, "The Caloric Theory of Adiabatic Compression", *Isis*, XLIV, 1958, pp. 136-137. A respeito da mudança secular no perélio de Mercúrio, ver E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, II, Londres, 1953, pp. 151, 179.

Segue-se daí que, para uma anomalia originar uma crise, deve ser algo mais do que uma simples anomalia. Sempre existem dificuldades em qualquer parte da adequação entre o paradigma e a natureza; a maioria, cedo ou tarde, acaba sendo resolvida, freqüentemente através de processos que não poderiam ter sido previstos. O cientista que se detém para examinar cada uma das anomalias que constata raramente realizará algum trabalho importante. Devemos, portanto, perguntar o que é que torna uma anomalia digna de um escrutínio coordenado. Provavelmente não existe uma resposta verdadeiramente geral para essa pergunta. Os casos que já examinamos são característicos, mas muito pouco descritivos. Algumas vezes uma anomalia colocará claramente em questão as generalizações explícitas e fundamentais do paradigma – tal como o problema da resistência do éter com relação aos que aceitavam a teoria de Maxwell. Ou, como no caso da revolução copernicana, uma anomalia sem importância fundamental aparente pode provocar uma crise, caso as aplicações que ela inibe possuam uma importância prática especial – neste exemplo para a elaboração do calendário e para a astrologia. Ou, como no caso da química do século XVIII, o desenvolvimento da ciência normal pode transformar em uma fonte de crise uma anomalia que anteriormente não passava de um incômodo: o problema das relações de peso adquiriu um status muito diferente após a evolução das técnicas químico-pneumáticas. É de se presumir que ainda existam outras circunstâncias capazes de tornar uma anomalia algo particularmente premente. Em geral diversas dessas circunstâncias parecerão combinadas. Já indicamos, por exemplo, que uma das fontes da crise com a qual se defrontou Copérnico foi simplesmente o espaço de tempo durante o qual os astrônomos lutaram sem sucesso para reduzir as discrepâncias residuais existentes no sistema de Ptolomeu.

Quando, por essas razões ou outras similares, uma anomalia parece ser algo mais do que um novo quebra-cabeça da ciência normal, é sinal de que se iniciou a transição para a crise e para a ciência extraordinária. A própria anomalia passa a ser mais comumente reconhecida como tal pelos cientistas. Um número cada vez maior de cientistas eminentes do setor passa a dedicar-lhe uma atenção sempre maior. Se a

anomalia continua resistindo à análise (o que geralmente não acontece), muitos cientistas podem passar a considerar sua resolução como o objeto de estudo específico de sua disciplina. Para esses investigadores a disciplina não parecerá mais a mesma de antes. Parte dessa aparência resulta pura e simplesmente da nova perspectiva de enfoque adotada pelo escrutínio científico. Uma fonte de mudanças ainda mais importante é a natureza divergente das numerosas soluções parciais que a atenção concentrada tornou disponível. Os primeiros ataques contra o problema não-resolvido seguem bem de perto as regras do paradigma, mas, com a contínua resistência, a solução, os ataques envolverão mais e mais algumas articulações menores do paradigma (ou mesmo algumas não tão inexpressivas). Nenhuma dessas articulações será igual; cada uma delas será bem sucedida, mas nenhuma tão bem sucedida que possa ser aceita como paradigma pelo grupo. Através dessa proliferação de articulações divergentes (que serão cada vez mais freqüentemente descritas como adaptações *ad hoc*), as regras da ciência normal tornam-se sempre mais indistintas. A esta altura, embora ainda exista um paradigma, constata-se que poucos cientistas estarão de acordo sobre qual seja ele. Mesmo soluções-padrão de problemas que anteriormente eram aceitas passam a ser questionadas.

Tal situação, quando aguda, é algumas vezes reconhecida pelos cientistas envolvidos. Copérnico queixou-se de que no seu tempo os astrônomos eram tão “incoerentes nessas investigações [astronômicas] [...] que não conseguiam explicar nem mesmo a duração constante das estações do ano”. “Com eles”, continua, “é como se um artista reunisse as mãos, os pés, a cabeça e outros membros de imagens de diversos modelos, cada parte minúsculo bem desenhada, mas sem relação com um mesmo corpo. Uma vez que elas não se adaptam umas às outras de forma alguma, o resultado seria antes um monstro que um homem.”⁵ Einstein, limitado pelo emprego corrente de uma linguagem menos rebuscada, escreveu apenas que: “Foi como se o solo debaixo de nossos

pés tivesse sido retirado, sem que nenhum fundamento firme, sobre o qual se pudesse construir, estivesse à vista”⁶. Wolfgang Pauli, nos meses que precederam o artigo de Heisenberg que indicaria o caminho para uma nova teoria dos *quanta*, escreveu a um amigo: “No momento, a física está mais uma vez em terrível confusão. De qualquer modo, para mim é muito difícil. Gostaria de ter-me tornado um comediante de cinema ou algo do gênero e nunca ter ouvido falar de física”. Esse testemunho é particularmente impressionante se contrastado com as palavras que Pauli pronunciou cinco meses depois: “O tipo de mecânica proposta por Heisenberg devolveu-me a esperança e a alegria de viver. Sem dúvida alguma, ela não proporciona a solução para a charada, mas acredito que agora é possível avançar novamente”⁷.

Tais reconhecimentos explícitos de fracasso são extraordinariamente raros, mas os efeitos da crise não dependem inteiramente de sua aceitação consciente. Quais são esses efeitos? Apenas dois deles parecem ser universais. Todas as crises iniciam com o obscurecimento de um paradigma e o conseqüente relaxamento das regras que orientam a pesquisa normal. A esse respeito, a pesquisa dos períodos de crise assemelha-se muito à pesquisa pré-paradigmática, com a diferença de que no primeiro caso o ponto de divergência é menor e menos claramente definido. As crises podem terminar de três maneiras. Algumas vezes a ciência normal acaba revelando-se capaz de tratar do problema que provoca crise, apesar do desespero daqueles que o viam como o fim do paradigma existente. Em outras ocasiões o problema resiste até mesmo a novas abordagens aparentemente radicais. Nesse caso, os cientistas podem concluir que nenhuma solução para o problema poderá surgir no estado atual da área de estudo. O problema recebe então um rótulo e é posto de lado

6. Albert Einstein, “Autobiographical Note”, em: *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, ed. P. A. Schil, Evanston, Ill., 1949, p. 45.

7. Ralph Kronig, “The Turning Point”, em *Theoretical Physics in the Twentieth Century: A Memorial Volume to Wolfgang Pauli*, ed. M. Fierz e V. F. Weisskopf, Nova York, 1960, pp. 22, 25-26. Grande parte desse artigo descreve a crise que teve lugar na mecânica quântica nos anos anteriores a 1925.

5. Citado em T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution*, Cambridge, Mass., 1957, p. 138.

para ser resolvido por uma futura geração que disponha de instrumentos mais elaborados. Ou, finalmente, o caso que mais nos interessa: uma crise pode terminar com a emergência de um novo candidato a paradigma e com uma subsequente batalha por sua aceitação. Este último modo de resolução será extensamente examinado nos últimos capítulos, mas anteciparemos algo do que será dito, a fim de completar estas observações sobre a evolução e a anatomia do estado de crise.

A transição de um paradigma em crise para um novo, do qual pode surgir uma nova tradição de ciência normal, está longe de ser um processo cumulativo obtido através de uma articulação do velho paradigma. É antes uma reconstrução da área de estudos a partir de novos princípios, reconstrução que altera algumas das generalizações teóricas mais elementares do paradigma, bem como muitos de seus métodos e aplicações. Durante o período de transição haverá uma grande coincidência (embora nunca completa) entre os problemas que podem ser resolvidos pelo antigo paradigma e os que podem ser resolvidos pelo novo. Haverá igualmente uma diferença decisiva no tocante aos modos de solucionar os problemas. Completada a transição, os cientistas terão modificado a sua concepção da área de estudos, de seus métodos e de seus objetivos. Um historiador perspicaz, observando um caso clássico de reorientação da ciência por mudança de paradigma, descreveu-o recentemente como “tomar o reverso da medalha”, processo que envolve “manipular o mesmo conjunto de dados que anteriormente, mas estabelecendo entre eles um novo sistema de relações, organizado a partir de um quadro de referência diferente”⁸. Outros que atentaram para esse aspecto do avanço científico enfatizaram sua semelhança com uma mudança na forma (*gestalt*) visual: as marcas no papel, que primeiramente foram vistas como um pássaro, são agora vistas como um antílope ou vice-versa⁹. Tal paralelo pode ser enganoso. Os cientistas não vêem uma coisa *como* se fosse outra diferente — eles

simplesmente a vêem. Já examinamos alguns dos problemas criados com a afirmação de que Priestley via o oxigênio como ar desflogistizado. Além disso, o cientista não retém, como o sujeito da *gestalt*, a liberdade de passar repetidamente de uma maneira de ver a outra. Não obstante, a mudança de forma perceptiva (*gestalt*), sobretudo por ser atualmente tão familiar, é um protótipo elementar útil para o exame do que ocorre durante uma mudança total de paradigma.

As antecipações feitas acima poderão auxiliar-nos a reconhecer a crise como um prelúdio apropriado à emergência de novas teorias, especialmente após termos examinado uma versão em pequena escala do mesmo processo, ao discutirmos a emergência de descobertas. É exatamente porque a emergência de uma nova teoria rompe com uma tradição da prática científica e introduz uma nova dirigida por regras diferentes, situada no interior de um universo de discurso também diferente, que tal emergência só tem probabilidades de ocorrer quando se percebe que a tradição anterior equivocou-se gravemente. Contudo, essa observação não é mais que um prelúdio à investigação do estado de crise e, infelizmente, as perguntas às quais ela conduz requerem a competência do psicólogo, ainda mais do que a do historiador. Como é a pesquisa extraordinária? Como fazemos para que uma anomalia se ajuste à lei? Como procedem os cientistas quando se conscientizam de que há algo fundamentalmente errado no paradigma, em um nível para o qual não estão capacitados a trabalhar, devido às limitações de seu treinamento? Essas questões exigem investigações bem mais amplas, não necessariamente históricas. O que dizemos a seguir será necessariamente mais hipotético e incompleto do que o afirmado anteriormente.

Freqüentemente, um novo paradigma emerge — ao menos embrionariamente — antes que uma crise esteja bem desenvolvida ou tenha sido explicitamente reconhecida. O trabalho de Lavoisier fornece um exemplo característico. A sua nota lacrada foi depositada na Academia Francesa menos de um ano depois do primeiro estudo minucioso das relações de peso na teoria flogística e antes das publicações de Priestley terem revelado toda a extensão da crise existente na química

8. Herbert Butterfield, *The Origins of Modern Science, 1300-1800*, Londres, 1949, pp. 1-7.

9. Hanson, *op. cit.*, cap. I.

pneumática. Os primeiros informes de Thomas Young sobre a teoria ondulatória da luz apareceram num estágio bem inicial de uma crise que se desenvolvia na óptica. Tal crise teria passado quase despercebida se, na década que se seguiu aos primeiros trabalhos de Young, não tivesse se transformado em um escândalo científico internacional, sem qualquer assistência daquele autor. Em casos como esse, pode-se apenas dizer que um fracasso menor do paradigma e o primeiro obscurecimento de suas regras para a ciência normal foram suficientes para induzir em alguém um novo modo de encerrar seu campo de estudos. O que ocorreu entre a primeira percepção do problema e o reconhecimento de uma alternativa disponível deve ter sido em grande parte inconsciente.

Contudo, em outros casos – como por exemplo os de Copérnico, Einstein e da teoria nuclear contemporânea – decorre um tempo considerável entre a primeira consciência do fracasso do paradigma e a emergência de um novo. Quando as coisas se processam dessa maneira o historiador pode, pelo menos, captar algumas pistas sobre o que é a ciência extraordinária. Confrontado com uma anomalia reconhecidamente fundamental, o primeiro esforço teórico do cientista será, com frequência, isolá-la com maior precisão e dar-lhe uma estrutura. Embora consciente de que as regras da ciência normal não podem estar totalmente certas, procurará aplicá-las mais vigorosamente do que nunca, buscando descobrir precisamente onde e até que ponto elas podem ser empregadas eficazmente na área de dificuldades. Simultaneamente o cientista buscará modos de realçar a dificuldade, de torná-la mais nítida e talvez mais sugestiva do que era ao ser apresentada em experiências cujo resultado pensava-se conhecer de antemão. Esse esforço, mais do que em qualquer outro momento do desenvolvimento pré-paradigmático da ciência, parecerá quase idêntico à nossa imagem corrente do cientista. Em primeiro lugar, será frequentemente visto como um homem que procura ao acaso, realizando experiências simplesmente para ver o que acontecerá, procurando um efeito cuja natureza não pode imaginar com precisão. Ao mesmo tempo, dado que nenhuma experiência pode ser concebida sem o apoio de alguma espécie de teoria, o cientista em crise tentará constantemente gerar teorias especulativas

que, se bem sucedidas, possam abrir o caminho para um novo paradigma e, se mal sucedidas, possam ser abandonadas com relativa facilidade.

O relatório de Kepler sobre sua luta prolongada com o movimento de Marte e a descrição de Priestley sobre sua resposta à proliferação de novos gases fornecem exemplos clássicos de um tipo de pesquisa mais aleatório gerado pela consciência da anomalia¹⁰. Mas provavelmente as melhores ilustrações encontram-se nas pesquisas contemporâneas sobre a teoria de campo e sobre as partículas fundamentais. Não fosse a crise que tornou necessário determinar até onde poderiam ir as regras da ciência normal, teria parecido justificado o esforço exigido para detectar o neutrino? Do mesmo modo, se as regras não tivessem falhado de maneira evidente em algum ponto não revelado, a hipótese radical de não-conservação da paridade teria sido sugerida ou testada? Como tantas outras pesquisas físicas realizadas na década passada, essas experiências foram, em parte, tentativas de localizar e definir a origem de um conjunto ainda difuso de anomalias.

Esse tipo de pesquisa extraordinária é, com frequência (embora de nenhum modo geralmente), acompanhado por outro. Creio que é sobretudo nos períodos de crises reconhecidas que os cientistas se voltam para a análise filosófica como um meio para resolver as charadas de sua área de estudos. Em geral os cientistas não precisam ou mesmo desejam ser filósofos. Na verdade, a ciência normal usualmente mantém a filosofia criadora ao alcance da mão e provavelmente faz isso por boas razões. Na medida em que o trabalho de pesquisa normal pode ser conduzido utilizando-se do paradigma como modelo, as regras e pressupostos não precisam ser explicados. No capítulo quatro, observamos que o conjunto completo das regras, buscado pela análise filosófica, não precisa nem mesmo existir. Isso não quer dizer que a

10. Para um relato do trabalho de Kepler sobre Marte, ver J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, 2.^a ed., Nova York, 1953, pp. 380-393. Inexatidões acidentais não impedem que a apresentação de Dreyer nos forneça o material de que necessitamos. Quanto a Priestley, ver suas próprias obras, especialmente *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, Londres, 1774-1775.

de um homem profundamente imerso na crise. Qual seja a natureza desse estágio final -- como o indivíduo inventa (ou descobre que inventou) uma nova maneira de ordenar os dados, já agora coletados na sua totalidade -- permanecerá inescrutável aqui e é possível que assim seja permanentemente. Indiquemos apenas uma coisa a esse respeito. Quase sempre, os homens que fazem essas invenções fundamentais são muito jovens ou estão há pouco tempo na área de estudos cujo paradigma modificam¹⁵. Talvez não fosse necessário fazer essa observação, visto que tais homens, sendo pouco comprometidos com as regras tradicionais da ciência normal em razão de sua limitada prática científica anterior, têm grandes probabilidades de perceber que tais regras não mais definem alternativas viáveis e de conceber um outro conjunto que possa substituí-las.

A transição para um novo paradigma é uma revolução científica, tema que estamos finalmente preparados para abordar diretamente. Observe-se, entretanto, um aspecto final e aparentemente equívoco do caminho aberto pelo material apresentado nos três últimos capítulos. Até o capítulo cinco, quando pela primeira vez introduziu-se o conceito de anomalia, os termos "revolução" e "ciência extraordinária" podem ter parecido equivalentes. Mais importante ainda, nenhum desses termos poderia ter significado outra coisa além de "ciência não-normal". Tal circularidade pode ter incomodado pelo menos alguns leitores. Na prática, isso não precisava ter ocorrido. Estamos a ponto de descobrir que uma circularidade semelhante é característica das teorias científicas. Contudo, incômoda ou não, essa circularidade já não está mais sem caracterização. Neste capítulo do ensaio e nos

dois precedentes, enunciamos numerosos critérios relativos ao fracasso na atividade da ciência normal, critérios que não dependem de forma alguma do fato de uma revolução seguir-se ou não a esse fracasso. Confrontados com anomalias ou crises, os cientistas tomam uma atitude diferente com relação aos paradigmas existentes. Com isso, a natureza de suas pesquisas transforma-se de forma correspondente. A proliferação de articulações concorrentes, a disposição de tentar qualquer coisa, a expressão de descontentamento explícito, o recurso à filosofia e ao debate sobre os fundamentos, são sintomas de uma transição da pesquisa normal para a extraordinária. A noção de ciência normal depende mais da existência desses fatores do que da existência de revoluções.

15. Essa generalização do papel da juventude nas pesquisas científicas fundamentais é tão comum que chega a ser um clichê. Além disso, um olhar rápido em quase todas as listas de contribuições fundamentais à teoria científica proporcionará uma confirmação impressionista. Não obstante, a generalização está a requerer uma investigação sistemática. Harvey C. Lehman, *Age and Achievement*, Princeton, 1953, fornece muitos dados úteis, mas seus estudos não procuram distinguir aquelas contribuições que envolvem uma reconceptualização de natureza fundamental. Não se interrogam, igualmente, sobre as circunstâncias especiais -- se existem -- que podem acompanhar a produtividade relativamente tardia nas ciências.

busca de pressupostos (mesmo os não-existent) não possa eventualmente ser uma maneira eficaz de enfraquecer o domínio de uma tradição sobre a mente e sugerir as bases para uma nova. Não é por acaso que a emergência da física newtoniana no século XVII e da relatividade e da mecânica quântica no século XX foram precedidas e acompanhadas por análises filosóficas fundamentais da tradição de pesquisa contemporânea¹¹. Nem é acidental o fato de em ambos os períodos a chamada experiência de pensamento ter desempenhado um papel tão crítico no progresso da pesquisa. Como mostrei em outros lugares, a experiência de pensamento analítica que é tão importante nos escritos de Galileu, Einstein, Bohr e outros é perfeitamente calculada para expor o antigo paradigma ao conhecimento existente, de tal forma que a raiz da crise seja isolada com uma clareza impossível de obter-se no laboratório¹².

Com o desenvolvimento — isolado ou conjunto — desses procedimentos extraordinários, uma outra coisa pode ocorrer. Ao concentrar a atenção científica sobre uma área problemática bem delimitada e ao preparar a mente científica para o reconhecimento das anomalias experimentais pelo que realmente são, as crises fazem freqüentemente proliferar novas descobertas. Já indicamos como a consciência de crise distingue entre o trabalho de Lavoisier sobre o oxigênio e o de Priestley; e o oxigênio não foi o único gás que os químicos conscientes da anomalia descobriram nos trabalhos de Priestley. As novas descobertas ópticas acumularam-se rapidamente pouco antes e durante o surgimento da teoria ondulatória da luz. Algumas dessas descobertas, como a da polarização por reflexão, resultaram de acidentes que se tornam prováveis quando existe um trabalho concentrado na área problemática. (Malus, autor da descoberta, estava apenas iniciando seu ensaio sobre a dupla refração, com o qual

pensava conquistar o prêmio da Academia para trabalhos sobre esse tema. Sabia-se perfeitamente que essa questão apresentava um desenvolvimento insatisfatório até aquele momento.) Outras descobertas, como a do ponto luminoso no centro da sombra de um disco circular, foram resultado de predições realizadas a partir de uma nova hipótese, cujo sucesso ajudou a transformá-la em paradigma para os trabalhos posteriores. Outras ainda, como as cores de ranhuras e de placas grossas, eram efeitos que já haviam sido constatados muitas vezes e ocasionalmente mencionados, mas tal como o oxigênio de Priestley, haviam sido assimilados a efeitos bem conhecidos, de tal modo que não podiam ser vistos na sua natureza real¹³. Um relato similar poderia ser feito sobre as múltiplas descobertas que, a partir de 1895, acompanharam a emergência da mecânica quântica.

A pesquisa extraordinária deve ainda possuir outros efeitos e manifestações, mas nessa área mal começamos a descobrir as questões que precisam ser colocadas. A esta altura, isso talvez seja o suficiente. As observações anteriores devem bastar como indicação da maneira pela qual as crises debilitam a rigidez dos estereótipos e ao mesmo tempo fornecem os dados adicionais necessários para uma alteração fundamental de paradigma. Algumas vezes a forma do novo paradigma prefigura-se na estrutura que a pesquisa extraordinária deu à anomalia. Einstein escreveu que antes mesmo de dispor de qualquer substituto para a mecânica clássica, podia perceber a inter-relação existente entre as conhecidas anomalias da radiação de um corpo negro, do efeito fotoelétrico e dos calores específicos¹⁴. No entanto, mais freqüentemente tal estrutura não é percebida conscientemente de antemão. Ao invés disso, o novo paradigma, ou uma indicação suficiente para permitir uma posterior articulação, emerge repentinamente, algumas vezes no meio da noite, na mente

11. Para o contraponto filosófico que acompanhou a mecânica do século XVII, ver René Dugas, *La mécanique au XVII.^e siècle*, Neuchâtel, 1954, especialmente cap. XI. Com referência a um episódio semelhante no século XIX, ver um livro anterior do mesmo autor, *Histoire de la mécanique*, Neuchâtel, 1950, pp. 419-443.

12. T. S. Kuhn, "A Function for Thought Experiments", em: *Mélanges Alexandre Koyré*, ed. R. Taton e I. B. Cohen, publicado por Hermann, Paris.

13. A respeito das novas descobertas ópticas em geral, ver V. Ronchi, *Histoire de la lumière*, Paris, 1956, cap. VII. Para uma explicação anterior de um desses efeitos, ver J. Priestley, *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light and Colours*, Londres, 1772, pp. 498-520.

14. Einstein, *loc. cit.*

8. A NATUREZA E A NECESSIDADE DAS REVOLUÇÕES CIENTÍFICAS

Essas observações permitem-nos finalmente examinar os problemas que dão o nome a este ensaio. O que são revoluções científicas e qual a sua função no desenvolvimento científico? Grande parte da resposta a essas questões foi antecipada nos capítulos anteriores. De modo especial, a discussão precedente indicou que consideramos revoluções científicas aqueles episódios de desenvolvimento não-cumulativo, nos quais um paradigma mais antigo é total ou parcialmente substituído por um novo, incompatível com o anterior. Contudo, há muito mais a ser dito e uma parte essencial pode ser introduzida através de mais uma pergunta. Por que chamar de revolução uma mudança de paradigma? Face às grandes e essenciais diferenças que separam o desenvolvimento político do científico, que paralelismo poderá justificar a metáfora que encontra revoluções em ambos?

A esta altura um dos aspectos do paralelismo já deve ser visível. As revoluções políticas iniciam-se com um sentimen-

to crescente, com frequência restrito a um segmento da comunidade política, de que as instituições existentes deixaram de responder adequadamente aos problemas postos por um meio que ajudaram em parte a criar. De forma muito semelhante, as revoluções científicas iniciam-se com um sentimento crescente, também seguidamente restrito a uma pequena subdivisão da comunidade científica, de que o paradigma existente deixou de funcionar adequadamente na exploração de um aspecto da natureza, cuja exploração fora anteriormente dirigida pelo paradigma. Tanto no desenvolvimento político como no científico, o sentimento de funcionamento defeituoso, que pode levar à crise, é um pré-requisito para a revolução. Além disso, embora esse paralelismo evidentemente force a metáfora, é válido não apenas para as mudanças importantes de paradigma, tais como as que podemos atribuir a Copérnico e Lavoisier, mas também para as bem menos importantes, associadas com a assimilação de um novo tipo de fenômeno, como o oxigênio ou os raios X. Como indicamos no final do capítulo quatro, as revoluções científicas precisam parecer revolucionárias somente para aqueles cujos paradigmas sejam afetados por elas. Para observadores externos, podem parecer etapas normais de um processo de desenvolvimento, tal como as revoluções balcânicas no começo do século XX. Os astrônomos, por exemplo, podiam aceitar os raios X como uma simples adição ao conhecimento, pois seus paradigmas não foram afetados pela existência de uma nova radiação. Mas para homens como Kelvin, Crookes e Roentgen, cujas pesquisas tratavam da teoria da radiação ou dos tubos de raios catódicos, o surgimento dos raios X violou inevitavelmente um paradigma ao criar outro. É por isso que tais raios somente poderiam ter sido descobertos através da percepção de que algo não andava bem na pesquisa normal.

Esse aspecto genético do paralelo entre o desenvolvimento científico e o político não deveria deixar maiores dúvidas. Contudo, o paralelo possui um segundo aspecto, mais profundo, do qual depende o significado do primeiro. As revoluções políticas visam realizar mudanças nas instituições políticas, mudanças essas proibidas por essas mesmas instituições que se quer mudar. Consequentemente, seu êxito re-

quer o abandono parcial de um conjunto de instituições em favor de outro. E, nesse ínterim, a sociedade não é integralmente governada por nenhuma instituição. De início, é somente a crise que atenua o papel das instituições políticas, do mesmo modo que atenua o papel dos paradigmas. Em números crescentes os indivíduos alheiam-se cada vez mais da vida política e comportam-se sempre mais excêntrica-mente no interior dela. Então, na medida em que a crise se aprofunda, muitos desses indivíduos comprometem-se com algum projeto concreto para a reconstrução da sociedade de acordo com uma nova estrutura institucional. A essa altura, a sociedade está dividida em campos ou partidos em competição, um deles procurando defender a velha constelação institucional, o outro tentando estabelecer uma nova. Quando ocorre essa polarização, os *recursos de natureza política fracassam*. Por discordarem quanto à matriz institucional a partir da qual a mudança política deverá ser atingida e avaliada, por não reconhecerem nenhuma estrutura supra-institucional competente para julgar diferenças revolucionárias, os partidos envolvidos em um conflito revolucionário devem recorrer finalmente às técnicas de persuasão de massa, que seguidamente incluem a força. Embora as revoluções tenham tido um papel vital na evolução das instituições políticas, esse papel depende do fato de aquelas serem parcialmente eventos extrapolíticos e extra-institucionais.

O restante deste ensaio visa demonstrar que o estudo histórico da mudança de paradigmas revela características muito semelhantes a essas, ao longo da evolução da ciência. Tal como a escolha entre duas instituições políticas em competição, a escolha entre paradigmas em competição demonstra ser uma escolha entre modos incompatíveis de vida comunitária. Por ter esse caráter, ela não é e não pode ser determinada simplesmente pelos procedimentos de avaliação característicos da ciência normal, pois esses dependem parcialmente de um paradigma determinado e esse paradigma, por sua vez, está em questão. Quando os paradigmas participam – e devem fazê-lo – de um debate sobre a escolha de um paradigma, seu papel é necessariamente circular. Cada grupo utiliza seu próprio paradigma para argumentar em favor desse mesmo paradigma.

Naturalmente a circularidade resultante não torna esses argumentos errados ou mesmo ineficazes. Colocar um paradigma como premissa numa discussão destinada a defendê-lo pode, não obstante, fornecer uma mostra de como será a prática científica para todos aqueles que adotarem a nova concepção da natureza. Essa mostra pode ser imensamente persuasiva, chegando muitas vezes a compelir à sua aceitação. Contudo, seja qual for a sua força, o status do argumento circular equivale tão-somente ao da persuasão. Para os que recusam entrar no círculo, esse argumento não pode tornar-se impositivo, seja lógica, seja probabilisticamente. As premissas e os valores partilhados pelas duas partes envolvidas em um debate sobre paradigmas não são suficientemente amplos para permitir isso. Na escolha de um paradigma, — como nas revoluções políticas — não existe critério superior ao consentimento da comunidade relevante. Para descobrir como as revoluções científicas são produzidas, teremos, portanto, que examinar não apenas o impacto da natureza e da lógica, mas igualmente as técnicas de argumentação persuasiva que são eficazes no interior dos grupos muito especiais que constituem a comunidade dos cientistas.

Para descobrirmos por que esse problema de escolha de paradigma não pode jamais ser resolvido de forma inequívoca empregando-se tão-somente a lógica e os experimentos, precisaremos examinar brevemente a natureza das diferenças que separam os proponentes de um paradigma tradicional de seus sucessores revolucionários. Tal exame é o objeto principal deste capítulo e do seguinte. Já indicamos, contudo, numerosos exemplos de tais diferenças e ninguém duvidará de que a história da ciência pode fornecer muitos mais. Mais do que a existência de tais diferenças, é provável que ponhamos em dúvida a capacidade de tais exemplos para nos proporcionarem informações essenciais sobre a natureza da ciência — e portanto examinaremos essa questão em primeiro lugar. Admitindo que a rejeição de paradigmas é um fato histórico, tal rejeição ilumina algo mais do que a credulidade e a confusão humanas? Existem razões intrínsecas pelas quais a assimilação, seja de um novo tipo de fenômeno, seja de uma nova teoria científica, devam exigir a rejeição de um paradigma mais antigo?

Observe-se primeiramente que, se existem tais razões, elas não derivam da estrutura lógica do conhecimento científico. Em princípio, um novo fenômeno poderia emergir sem refletir-se destrutivamente sobre algum aspecto da prática científica passada. Embora a descoberta de vida na Lua possa ter atualmente um efeito destrutivo sobre os paradigmas existentes (aqueles que fazem afirmações sobre a Lua que parecem incompatíveis com a existência de vida naquele satélite), a descoberta de vida em alguma parte menos conhecida da galáxia não teria esse efeito. Do mesmo modo, uma nova teoria não precisa entrar necessariamente em conflito com qualquer de suas predecessoras. Pode tratar exclusivamente de fenômenos antes desconhecidos, como a teoria quântica, que examina fenômenos subatômicos desconhecidos até o século XX — mas, e isso é significativo, não examina apenas esses fenômenos. Ainda, a nova teoria poderia ser simplesmente de um nível mais elevado do que as anteriormente conhecidas, capaz de integrar todo um grupo de teorias de nível inferior, sem modificar substancialmente nenhuma delas. Atualmente, a teoria da conservação da energia proporciona exatamente esse tipo de vínculo entre a dinâmica, a química, a eletricidade, a óptica, a teoria térmica e assim por diante. Podemos ainda conceber outras relações compatíveis entre teorias velhas e novas e cada uma dessas pode ser exemplificada pelo processo histórico através do qual a ciência desenvolveu-se. Se fosse assim, o desenvolvimento científico seria genuinamente cumulativo. Novos tipos de fenômenos simplesmente revelariam a ordem existente em algum aspecto da natureza onde esta ainda não fora descoberta. Na evolução da ciência, os novos conhecimentos substituiriam a ignorância, em vez de substituir outros conhecimentos de tipo distinto e incompatível.

Certamente a ciência (ou algum outro empreendimento talvez menos eficaz) poderia ter se desenvolvido dessa maneira totalmente cumulativa. Muitos acreditaram que realmente ocorreu assim e a maioria ainda parece supor que a acumulação é, pelo menos, o ideal que o desenvolvimento histórico exibiria, caso não tivesse sido tão comumente distorcido pela idiosincrasia humana. Existem importantes razões para tal crença. No capítulo nove, descobriremos quão

estritamente entrelaçadas estão a concepção de ciência como acumulação e a epistemologia que considera o conhecimento como uma construção colocada diretamente pelo espírito sobre os dados brutos dos sentidos. No capítulo dez examinaremos o sólido apoio fornecido a esse mesmo esquema historiográfico pelas técnicas da eficaz pedagogia das ciências. Não obstante, apesar da imensa plausibilidade dessa mesma imagem ideal, existem crescentes razões para perguntarmos se é possível que esta seja uma imagem de ciência. Após o período pré-paradigmático, a assimilação de todas as novas teorias e de quase todos os novos tipos de fenômenos exigiram a destruição de um paradigma anterior e um conseqüente conflito entre escolas rivais de pensamento científico. A aquisição cumulativa de novidades não antecipadas demonstra ser uma exceção quase inexistente à regra do desenvolvimento científico. Aquele que leva a sério o fato histórico deve suspeitar de que a ciência não tende ao ideal sugerido pela imagem que temos de seu caráter cumulativo. Talvez ela seja uma outra espécie de empreendimento.

Contudo, se a resistência de determinados fatos nos leva tão longe, então uma segunda inspeção no terreno já percorrido pode sugerir-nos que a aquisição cumulativa de novidades é de fato não apenas rara, mas em princípio improvável. A pesquisa normal, que é cumulativa, deve seu sucesso à habilidade dos cientistas para selecionar regularmente fenômenos que podem ser solucionados através de técnicas conceituais e instrumentais semelhantes às já existentes. (É por isso que uma preocupação excessiva com problemas úteis, sem levar em consideração sua relação com os conhecimentos e as técnicas existentes, pode facilmente inibir o desenvolvimento científico.) Contudo, o homem que luta para resolver um problema definido pelo conhecimento e pela técnica existentes não se limita simplesmente a olhar à sua volta. Sabe o que quer alcançar; concebe seus instrumentos e dirige seus pensamentos de acordo com seus objetivos. A novidade não antecipada, isto é, a nova descoberta, somente pode emergir na medida em que as antecipações sobre a natureza e os instrumentos do cientista demonstrem estar equivocados. Frequentemente, a importância da descoberta resultante será ela mesma proporcional à extensão e à tena-

cidade da anomalia que a prenunciou. Nesse caso, deve evidentemente haver um conflito entre o paradigma que revela uma anomalia e aquele que, mais tarde, a submete a uma lei. Os exemplos de descobertas através da destruição de paradigmas examinados no capítulo cinco não são simples acidentes históricos. Não existe nenhuma outra maneira eficaz de gerar descobertas.

O mesmo argumento aplica-se ainda mais claramente à invenção de novas teorias. Existem, em princípio, somente três tipos de fenômenos a propósito dos quais pode ser desenvolvida uma nova teoria. O primeiro tipo compreende os fenômenos já bem explicados pelos paradigmas existentes. Tais fenômenos raramente fornecem motivos ou um ponto de partida para a construção de uma teoria. Quando o fazem, como no caso das três antecipações famosas discutidas ao final do capítulo seis, as teorias resultantes raramente são aceitas, visto que a natureza não proporciona nenhuma base para uma discriminação entre as alternativas. Uma segunda classe de fenômenos compreende aqueles cuja natureza é indicada pelos paradigmas existentes, mas cujos detalhes somente podem ser entendidos após uma maior articulação da teoria. Os cientistas dirigem a maior parte de sua pesquisa a esses fenômenos, mas tal pesquisa visa antes à articulação dos paradigmas existentes do que à invenção de novos. Somente quando esses esforços de articulação fracassam é que os cientistas encontram o terceiro tipo de fenômeno: as anomalias reconhecidas, cujo traço característico é a sua recusa obstinada a serem assimiladas pelos paradigmas existentes. Apenas esse último tipo de fenômeno faz surgir novas teorias. Os paradigmas fornecem a todos os fenômenos (exceção feita às anomalias) um lugar no campo visual do cientista, lugar esse determinado pela teoria.

Mas se novas teorias são chamadas para resolver as anomalias presentes na relação entre uma teoria existente e a natureza, então a nova teoria bem sucedida deve, em algum ponto, permitir predições diferentes daquelas derivadas de sua predecessora. Essa diferença não poderia ocorrer se as duas teorias fossem logicamente compatíveis. No processo de sua assimilação, a nova teoria deve ocupar o lugar da anterior. Mesmo uma teoria como a da conservação da energia

(que atualmente parece ser uma superestrutura lógica relacionada com a natureza apenas através de teorias independentemente estabelecidas), não se desenvolveu historicamente sem a destruição de um paradigma. Ao invés disso, ela emergiu de uma crise na qual um ingrediente essencial foi a incompatibilidade entre a dinâmica newtoniana e algumas consequências da teoria calórica formuladas recentemente. Unicamente após a rejeição da teoria calórica é que a conservação da energia pôde tornar-se parte da ciência¹. Somente após ter feito parte da ciência por algum tempo é que pôde adquirir a aparência de uma teoria de um nível logicamente mais elevado, sem conflito com suas predecessoras. É difícil ver como novas teorias poderiam surgir sem essas mudanças destrutivas nas crenças sobre a natureza. Embora a inclusão lógica continue sendo uma concepção admissível da relação existente entre teorias científicas sucessivas, não é plausível do ponto de vista histórico.

Creio que um século atrás teria sido possível interromper neste ponto o argumento em favor da necessidade de revoluções, mas hoje em dia infelizmente não podemos fazer isso, pois a concepção acima desenvolvida sobre o assunto não pode ser mantida, caso a interpretação contemporânea predominante sobre a natureza e a função da teoria científica seja aceita. Essa interpretação, estreitamente associada com as etapas iniciais do positivismo lógico e não rejeitada categoricamente pelos estágios posteriores da doutrina, restringiria o alcance e o sentido de uma teoria admitida, de tal modo que ela não poderia de modo algum conflitar com qualquer teoria posterior que realizasse previsões sobre alguns dos mesmos fenômenos naturais por ela considerados. O argumento mais sólido e mais conhecido em favor dessa concepção restrita de teoria científica emerge em discussões sobre a relação entre a dinâmica einsteiniana atual e as equações dinâmicas mais antigas que derivam dos *Principia* de Newton. Do ponto de vista deste ensaio, essas duas teorias são fundamentalmente incompatíveis, no mesmo sentido que

a astronomia de Copérnico com relação à de Ptolomeu: a teoria de Einstein somente pode ser aceita caso se reconheça que Newton estava errado. Atualmente essa concepção permanece minoritária². Precisamos portanto examinar as objeções mais comuns que lhe são dirigidas.

A idéia central dessas objeções pode ser apresentada como segue: a dinâmica relativista não poderia ter demonstrado o erro da dinâmica newtoniana, pois esta ainda é empregada com grande sucesso pela maioria dos engenheiros e, em certas aplicações selecionadas, por muitos físicos. Além disso, a justeza do emprego dessa teoria mais antiga pode ser demonstrada pela própria teoria que a substituiu em outras aplicações. A teoria de Einstein pode ser utilizada para mostrar que as previsões derivadas das equações de Newton serão tão boas como nossos instrumentos de medida, em todas aquelas equações que satisfaçam um pequeno número de condições restritivas. Por exemplo, para que a teoria de Newton nos forneça uma boa solução aproximada, as velocidades relativas dos corpos considerados devem ser pequenas em comparação com a velocidade da luz. Satisfeita essa condição e algumas outras, a teoria newtoniana parece ser derivável da einsteiniana, da qual é portanto um caso especial.

Mas, continua a mesma objeção, teoria nenhuma pode entrar em conflito com um dos seus casos especiais. Se a ciência de Einstein parece tornar falsa a dinâmica de Newton, isso se deve somente ao fato de alguns newtonianos terem sido incautos a ponto de alegar que a teoria de Newton produzia resultados absolutamente precisos ou que era válida para velocidades relativas muito elevadas. Uma vez que não dispunham de prova para tais alegações, ao expressá-las traíram os padrões do procedimento científico. A teoria newtoniana continua a ser uma teoria verdadeiramente científica naqueles aspectos em que, apoiada por provas válidas, foi em algum momento considerada como tal. Einstein somente pode ter demonstrado o erro daquelas alegações extravagantes atribuídas à teoria de Newton — alegações que de resto nunca foram propriamente parte da ciência.

1. Silvanus P. Thompson, *Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs*, I, Londres, 1910, pp. 266-281.

2. Ver, por exemplo, as considerações de P. P. Wiener em *Philosophy of Science*, XXV, 1958, p. 298.

Eliminando-se essas extravagâncias meramente humanas, a teoria newtoniana nunca foi desafiada e nem pode sê-lo.

Uma variante desse argumento é suficiente para tornar imune ao ataque qualquer teoria jamais empregada por um grupo significativo de cientistas competentes. Por exemplo, a tão difamada teoria do flogisto ordenava grande número de fenômenos físicos e químicos. Explicava por que os corpos queimam – porque são ricos em flogisto – e por que os metais possuem muito mais propriedades em comum do que seus minerais. Segundo essa teoria, os metais são todos compostos por diferentes terras elementares combinadas com o flogisto e esse último, comum a todos os metais, gera propriedades comuns. A par disso, a teoria flogística explicava diversas reações nas quais ácidos eram formados pela combustão de substâncias como o carbono e o enxofre. Explicava igualmente a diminuição de volume quando a combustão ocorre num volume limitado de ar – o flogisto liberado pela combustão “estragava” a elasticidade do ar que o absorvia, do mesmo modo que o fogo “estraga” a elasticidade de uma mola de aço³. Se esses fossem os únicos fenômenos que os teóricos do flogisto pretendessem explicar mediante sua teoria, esta nunca poderia ter sido contestada. Um argumento semelhante será suficiente para defender qualquer teoria que, em algum momento, tenha tido êxito na aplicação a qualquer conjunto de fenômenos.

Mas para que possamos salvar teorias dessa maneira, suas gamas de aplicação deverão restringir-se àqueles fenômenos e à precisão de observação de que tratam as provas experimentais já disponíveis⁴. Se tal limitação for levada um passo adiante (e isso dificilmente pode ser evitado uma vez dado o primeiro passo), o cientista fica proibido de alegar que está falando “cientificamente” a respeito de qualquer

fenômeno ainda não observado. Mesmo na sua forma atual, esta restrição proíbe que o cientista baseie sua própria pesquisa em uma teoria, toda vez que tal pesquisa entre em uma área ou busque um grau de precisão para os quais a prática anterior da teoria não ofereça precedentes. Tais proibições não são excepcionais do ponto de vista lógico, mas aceitá-las seria o fim da pesquisa que permite à ciência continuar a se desenvolver.

A essa altura, esse ponto já é virtualmente tautológico. Sem o compromisso com um paradigma não poderia haver ciência normal. Além disso, esse compromisso deve entender-se a áreas e graus de precisão para os quais não existe nenhum precedente satisfatório. Não fosse assim, o paradigma não poderia fornecer quebra-cabeças que já não tivessem sido resolvidos. Além do mais, não é apenas a ciência normal que depende do comprometimento com um paradigma. Se as teorias existentes obrigam o cientista somente com relação às aplicações existentes, então não pode haver surpresas, anomalias ou crises. Mas esses são apenas sinais que apontam o caminho para a ciência extraordinária. Se tomarmos literalmente as restrições positivistas sobre a esfera de aplicabilidade de uma teoria legítima, o mecanismo que indica à comunidade científica que problemas podem levar a mudanças fundamentais deve cessar seu funcionamento. Quando isso ocorre, a comunidade retornará a algo muito similar a seu estado pré-paradigmático, situação na qual todos os membros praticam ciência, mas o produto bruto de suas atividades assemelha-se muito pouco à ciência. Será realmente surpreendente que o preço de um avanço científico significativo seja um compromisso que corre o risco de estar errado?

Ainda mais importante é a existência de uma lacuna lógica reveladora no argumento positivista, que nos reintroduzirá imediatamente na natureza da mudança revolucionária. A dinâmica newtoniana pode realmente ser *derivada* da dinâmica relativista? A que se assemelharia essa derivação? Imaginemos um conjunto de proposições $E_1, E_2, \dots, E_n$, que juntas abarcam as leis da teoria da relatividade. Essas proposições contêm variáveis a parâmetros representando posição espacial, tempo, massa em repouso etc. A partir deles, junta-

3. James B. Conant, *Overthrow of the Phlogiston Theory*, Cambridge, 1950, pp. 13-16; e J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, 2.^a ed., Londres, 1951, pp. 85-88. O relato mais completo e simpático das realizações da teoria do flogisto aparece no livro de H. Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, Paris, 1930, parte II.

4. Compare-se as conclusões alcançadas através de um tipo de análise muito diverso por R. B. Braithwaite, *Scientific Explanation*, Cambridge, 1953, pp. 50-87, especialmente p. 76.

mente com o aparato da lógica e da matemática, é possível deduzir todo um conjunto de novas proposições, inclusive algumas que podem ser verificadas através da observação. Para demonstrar a adequação da dinâmica newtoniana como um caso especial, devemos adicionar aos E_i proposições adicionais, tais como $(v/c)^2 \ll 1$, restringindo o âmbito dos parâmetros e variáveis. Esse conjunto ampliado de proposições é então manipulado de modo a produzir um novo conjunto $N_1, N_2, \dots, N_m$, que na sua forma é idêntico às leis de Newton relativas ao movimento, à gravidade e assim por diante. Desse modo, sujeita a algumas condições que a limitam, a dinâmica newtoniana foi aparentemente derivada da einsteiniana.

Todavia tal derivação é espúria, ao menos em um ponto. Embora os N_i sejam um caso especial de mecânica relativista, eles não são as leis de Newton. Se o são, estão reinterpretadas de uma maneira que seria inconcebível antes dos trabalhos de Einstein. As variáveis e os parâmetros que nos E_i einsteinianos representavam posição espacial, tempo, massa etc. ainda ocorrem nos N_i e continuam representando o espaço, o tempo e a massa einsteiniana. Mas os referentes físicos desses conceitos einsteinianos não são de modo algum idênticos àqueles conceitos newtonianos que levam o mesmo nome. (A massa newtoniana é conservada; a einsteiniana é conversível com a energia. Apenas em baixas velocidades relativas podemos medi-las do mesmo modo e mesmo então não podem ser consideradas idênticas.) A menos que modifiquemos as definições das variáveis dos N_i , as proposições que derivamos não são newtonianas. Se as mudamos, não podemos realmente afirmar que *derivamos* as leis de Newton, pelo menos não no sentido atualmente aceito para a expressão "derivar". Evidentemente o nosso argumento explicou por que as leis de Newton pareciam aplicáveis. Ao fazê-lo justificou, por exemplo, o motorista que age como se vivesse em um universo newtoniano. Um argumento da mesma espécie é utilizado para justificar o ensino de uma astronomia centrada na Terra aos agrimensores. Mas o argumento ainda não alcançou os objetivos a que se propunha, ou seja, não demonstrou que as leis de Newton são um caso limite das de Einstein, pois na derivação não foram apenas as formas das

leis que mudaram. Tivemos que alterar simultaneamente os elementos estruturais fundamentais que compõem o universo ao qual se aplicam.

Essa necessidade de modificar o sentido de conceitos estabelecidos e familiares é crucial para o impacto revolucionário da teoria de Einstein. Embora mais sutil que as mudanças do geocentrismo para o heliocentrismo, do flogisto para o oxigênio ou dos corpúsculos para as ondas, a transformação resultante não é menos decididamente destruidora para um paradigma previamente estabelecido. Podemos mesmo vir a considerá-la como um protótipo para as reorientações revolucionárias nas ciências. Precisamente por não envolver a introdução de objetos ou conceitos adicionais, a transição da mecânica newtoniana para a einsteiniana ilustra com particular clareza a revolução científica como sendo um deslocamento da rede conceitual através da qual os cientistas vêem o mundo.

Essas observações deveriam ser suficientes para indicar aquilo que, em outra atmosfera filosófica, poderia ser dado como pressuposto. A maioria das diferenças aparentes entre uma teoria científica descartada e sua sucessora são reais, pelo menos para os cientistas. Embora uma teoria obsoleta sempre possa ser vista como um caso especial de sua sucessora mais atualizada, deve ser transformada para que isso possa ocorrer. Essa transformação só pode ser empreendida dispondo-se das vantagens da visão retrospectiva, sob a direção explícita da teoria mais recente. Além disso, mesmo que essa transformação fosse um artifício legítimo, empregado para interpretar a teoria mais antiga, o resultado de sua aplicação seria uma teoria tão restrita que seria capaz apenas de reafirmar o já conhecido. Devido a sua economia, essa rerepresentação seria útil, mas não suficiente para orientar a pesquisa.

Aceitamos portanto como pressuposto que as diferenças entre paradigmas sucessivos são ao mesmo tempo necessárias e irreconciliáveis. Poderemos precisar mais explicitamente que espécies de diferenças são essas? O tipo mais evidente já foi repetidamente ilustrado. Paradigmas sucessivos nos ensinam coisas diferentes acerca da população do universo e sobre o comportamento dessa população. Isto é,

diferem quanto a questões como a existência de partículas subatômicas, a materialidade da luz e a conservação do calor ou da energia. Essas são diferenças substantivas entre paradigmas sucessivos e não requerem maiores exemplos. Mas os paradigmas não diferem somente por sua substância, pois visam não apenas à natureza, mas também à ciência que os produziu. Eles são fonte de métodos, áreas problemáticas e padrões de solução aceitos por qualquer comunidade científica amadurecida, em qualquer época que consideramos. Consequentemente, a recepção de um novo paradigma requer com frequência uma redefinição da ciência correspondente. Alguns problemas antigos podem ser transferidos para outra ciência ou declarados absolutamente “não-científicos”. Outros problemas anteriormente tidos como triviais ou não-existentes podem converter-se, com um novo paradigma, nos arquétipos das realizações científicas importantes. À medida que os problemas mudam, mudam também, seguidamente, os padrões que distinguem uma verdadeira solução científica de uma simples especulação metafísica, de um jogo de palavras ou de uma brincadeira matemática. A tradição científica normal que emerge de uma revolução científica é não somente incompatível, mas muitas vezes verdadeiramente incomensurável com aquela que a precedeu.

O impacto da obra de Newton sobre a tradição de prática científica normal do século XVII proporciona um exemplo notável desses efeitos sutis provocados pela alteração de paradigma. Antes do nascimento de Newton, a “ciência nova” do século conseguira finalmente rejeitar as explicações aristotélicas e escolásticas expressas em termos das essências dos corpos materiais. Afirmar que uma pedra cai porque sua “natureza” a impulsiona na direção do centro do universo convertera-se em um simples jogo de palavras tautológico – algo que não fora anteriormente. A partir daí todo o fluxo de percepções sensoriais, incluindo cor, gosto e mesmo peso, seria explicado em termos de tamanho, forma e movimento dos corpúsculos elementares da matéria fundamental. A atribuição de outras qualidades aos átomos elementares era um recurso ao oculto e portanto fora dos limites da ciência. Molière captou com precisão esse novo espírito ao ridicularizar o médico que explicava a eficácia do

ópio como soporífero atribuindo-lhe uma potência dormitiva. Durante a última metade do século XVIII muitos cientistas preferiam dizer que a forma arredondada das partículas de ópio permitia-lhes acalmar os nervos sobre os quais se movimentavam⁵.

Em um período anterior, as explicações em termos de qualidades ocultas haviam sido uma parte integrante do trabalho científico produtivo. Não obstante, o novo compromisso do século XVII com a explicação mecânico-corpúscular revelou-se imensamente frutífero para diversas ciências, desembaraçando-as de problemas que haviam desafiado as soluções comumente aceitas e sugerindo outras para substituí-los. Em dinâmica, por exemplo, as três leis do movimento de Newton são menos um produto de novas experiências que da tentativa de reinterpretar observações bem conhecidas em termos de movimentos e interações de corpúsculos neutros primários. Examinemos apenas um exemplo concreto. Dado que os corpúsculos podiam agir uns sobre os outros apenas por contato, a concepção mecânico-corpúscular da natureza dirigiu a atenção científica para um objeto de estudo absolutamente novo: a alteração do movimento de partículas por meio de colisões. Descartes anunciou o problema e forneceu sua primeira solução putativa. Huyghens, Wren e Wallis foram mais adiante ainda, em parte por meio de experiências com pêndulos que colidiam, mas principalmente através das bem conhecidas características do movimento ao novo problema. Newton integrou esses resultados em suas leis do movimento. As “ações” e “reações” iguais da terceira lei são as mudanças em quantidade de movimento experimentadas pelos dois corpos que entram em colisão. A mesma mudança de movimento fornece a definição de força dinâmica implícita na segunda lei. Nesse caso, como em muitos outros durante o século XVII, o paradigma corpúscular engendrou ao mesmo tempo um novo problema e grande parte de sua solução⁶.

5. No tocante ao corpuscularismo em geral, ver Marie Boas, “The Establishment of the Mechanical Philosophy”, *Osiris*, X, 1952, pp. 412-541. Sobre o efeito da forma das partículas sobre o gosto, ver *ibid.* p. 483.

6. R. Dugas, *La mécanique au XVII^e siècle*, Neuchâtel, 1954, pp. 177-185, 284-298, 345-356.

Todavia, embora grande parte da obra de Newton fosse dirigida a problemas e incorporasse padrões derivados da concepção de mundo mecânico-corpuscular, o paradigma que resultou de sua obra teve como efeito uma nova mudança, parcialmente destrutiva, nos problemas e padrões considerados legítimos para a ciência. A gravidade, interpretada como uma atração inata entre cada par de partículas de matéria, era uma qualidade oculta no mesmo sentido em que a antiga "tendência a cair" dos escolásticos. Por isso, enquanto os padrões de concepção corpuscular permaneceram em vigor, a busca de uma explicação mecânica da gravidade foi um dos problemas mais difíceis para os que aceitavam os *Principia* como um paradigma. Newton devotou muita atenção a ele e muitos de seus sucessores do século XVIII fizeram o mesmo. A única opção aparente era rejeitar a teoria newtoniana por seu fracasso em explicar a gravidade e essa alternativa foi amplamente adotada. Contudo nenhuma dessas concepções acabou triunfando. Os cientistas, incapazes, tanto de praticar a ciência sem os *Principia* como de acomodar essa obra aos padrões do século XVII, aceitaram gradualmente a concepção segundo a qual a gravidade era realmente inata. Pela metade do século XVIII tal interpretação fora quase universalmente aceita, disso resultando uma autêntica reversão (o que não é a mesma coisa que um retrocesso), a um padrão escolástico. Atrações e repulsões inatas tornaram-se, tal como a forma, o tamanho, a posição e o movimento, propriedades primárias da matéria, fisicamente irreduzíveis⁷.

A mudança resultante nos padrões e áreas problemáticas da física teve, mais uma vez, amplas consequências. Por volta de 1740, por exemplo, os eletricitistas podiam falar da "virtude" atrativa do fluido elétrico, sem com isso expor-se ao ridículo que saudara o doutor de Molière um século antes. Os fenômenos elétricos passaram a exibir cada vez mais uma ordem diversa daquela que haviam apresentado quando considerados como efeitos de um eflúvio mecânico que podia

atuar apenas por contato. Em particular, quando uma ação elétrica a distância tornou-se um objeto de estudo de pleno direito, o fenômeno que atualmente chamamos de carga por indução pode ser reconhecido como um de seus efeitos. Anteriormente, quando se chegava a observá-lo, era atribuído à ação direta de "atmosfera" ou a vazamentos inevitáveis em qualquer laboratório elétrico. A nova concepção de efeitos indutivos foi, por sua vez, a chave da análise de Franklin sobre a garrafa de Leyden e desse modo para a emergência de um paradigma newtoniano para a eletricidade. A dinâmica e a eletricidade tampouco foram os únicos campos científicos afetados pela legitimação da procura de forças inatas da matéria. O importante corpo de literatura do século XVIII sobre afinidades químicas e séries de reposição deriva igualmente desse aspecto supramecânico do newtonismo. Químicos que acreditavam na existência dessas atrações diferenciais entre as diversas espécies químicas prepararam experiências ainda não imaginadas e buscaram novas espécies de reações. Sem os dados e conceitos químicos desenvolvidos ao longo desse processo, a obra posterior de Lavoisier e mais particularmente a de Dalton seriam incompreensíveis⁸. As mudanças nos padrões científicos que governam os problemas, conceitos e explicações admissíveis, podem transformar uma ciência. No próximo capítulo, chegarei mesmo a sugerir um sentido no qual podem transformar o mundo.

Outros exemplos dessas diferenças não-substantivas entre paradigmas sucessivos podem ser obtidos na história de qualquer ciência, praticamente em quase todos os períodos de seu desenvolvimento. Contentemo-nos por enquanto com dois outros exemplos mais breves. Antes da revolução química, uma das tarefas reconhecidas da química consistia em explicar as qualidades das substâncias químicas e as mudanças experimentadas por essas substâncias durante as reações. Com auxílio de um pequeno número de "princípios" elementares – entre os quais o flogisto – o químico devia explicar por que algumas substâncias são ácidas, outras metalinas, combustíveis e assim por diante. Obteve-se algum sucesso

7. I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*, Filadélfia, 1956, caps. VI-VII.

8. Sobre a eletricidade, ver *ibid.*, caps. VIII-IX. Quanto à química, ver Metzger, *op. cit.*, parte I.

nesse sentido. Já observamos que o flogisto explicava por que os metais eram tão semelhantes e poderíamos ter desenvolvido um argumento similar para os ácidos. Contudo, a reforma de Lavoisier acabou eliminando os “princípios” químicos, privando desse modo a química de parte de seu poder real e de muito de seu poder potencial de explicação. Tornava-se necessária uma mudança nos padrões científicos para compensar essa perda. Durante grande parte do século XIX uma teoria química não era posta em questão por fracassar na tentativa de explicação das qualidades dos compostos⁹.

Um outro exemplo: no século XIX, Clerk Maxwell partilhava com outros proponentes da teoria ondulatória da luz a convicção de que as ondas luminosas deviam propagar-se através de um éter material. Conceber um meio mecânico capaz de sustentar tais ondas foi um problema-padrão para muitos de seus contemporâneos mais competentes. Entretanto, sua própria teoria eletromagnética da luz não dava absolutamente nenhuma explicação sobre um meio capaz de sustentar ondas luminosas e certamente tornou ainda mais difícil explicá-lo do que já parecia. No início, a teoria de Maxwell foi amplamente rejeitada por essas razões. Mas, tal como a de Newton, a teoria de Maxwell mostrou que dificilmente poderia ser deixada de lado e quando alcançou o status de paradigma, a atitude da comunidade científica com relação a ela mudou. Nas primeiras décadas do século XX, a insistência de Maxwell em defender a existência de um éter material foi considerada mais e mais um gesto *pro forma*, sem maior convicção – o que certamente não fora – e as tentativas de conceber tal meio etéreo foram abandonadas. Os cientistas já não consideravam acientífico falar de um “deslocamento” elétrico sem especificar o que estava sendo deslocado. O resultado, mais uma vez, foi um novo conjunto de problemas e padrões científicos, um dos quais, no caso, teve muito a ver com a emergência da teoria da relatividade¹⁰.

Essas alterações características na concepção que a comunidade científica possui a respeito de seus problemas e padrões legítimos seriam menos significativas para as teses deste ensaio se pudéssemos supor que representam sempre uma passagem de um tipo metodológico inferior a um superior. Nesse caso, mesmo seus efeitos pareceriam cumulativos. Não é de surpreender que alguns historiadores tenham argumentado que a história da ciência registra um crescimento constante da maturidade e do refinamento da concepção que o homem possui a respeito da natureza da ciência¹¹. Todavia é ainda mais difícil defender o desenvolvimento cumulativo dos problemas e padrões científicos do que a acumulação de teorias. A tentativa de explicar a gravidade, embora proveitosamente abandonada pela maioria dos cientistas do século XVIII, não estava orientada para um problema intrinsecamente ilegítimo; as objeções às forças inatas não eram nem inerentemente acientíficas, nem metafísicas em algum sentido pejorativo. Não existem padrões exteriores que permitam um julgamento científico dessa espécie. O que ocorreu não foi nem uma queda, nem uma elevação de padrões, mas simplesmente uma mudança exigida pela adoção de um novo paradigma. Além disso, tal mudança foi desde então invertida e poderia sê-lo novamente. No século XX, Einstein foi bem sucedido na explicação das atrações gravitacionais e essa explicação fez com que a ciência voltasse a um conjunto de cânones e problemas que, neste aspecto específico, são mais parecidos com os dos predecessores de Newton do que com os de seus sucessores. Por sua vez, o desenvolvimento da mecânica quântica inverteu a proibição metodológica que teve sua origem na revolução química. Atualmente os químicos tentam, com grande sucesso, explicar a cor, o estado de agregação e outras qualidades das substâncias utilizadas e produzidas nos seus laboratórios. Uma inversão similar pode estar ocorrendo na teoria eletromagnética. O espaço, na física contemporânea, não é o substrato

9. E. Meyerson, *Identity and Reality*, Nova York, 1930, cap. X.

10. E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, II, Londres, 1953, pp. 28-30.

11. Para uma tentativa brilhante e totalmente atualizada de adaptar o desenvolvimento científico a esse leito de Procusto, ver C. G. Gillispie, *The Edge of Objectivity: An Essay to the History of Scientific Ideas*, Princeton, 1960.

inerte e homogêneo empregado tanto na teoria de Newton como na de Maxwell; algumas de suas novas propriedades não são muito diferentes das outrora atribuídas ao éter. É provável que algum dia cheguemos a saber o que é um deslocamento elétrico.

Os exemplos precedentes, ao deslocarem a ênfase das funções cognitivas para as funções normativas dos paradigmas, ampliam nossa compreensão dos modos pelos quais os paradigmas dão forma à vida científica. Antes disso, havíamos examinado especialmente o papel do paradigma como veículo para a teoria científica. Nesse papel, ele informa ao cientista que entidades a natureza contém ou não contém, bem como as maneiras segundo as quais essas entidades se comportam. Essa informação fornece um mapa cujos detalhes são elucidados pela pesquisa científica amadurecida. Uma vez que a natureza é muito complexa e variada para ser explorada ao acaso, esse mapa é tão essencial para o desenvolvimento contínuo da ciência como a observação e a experiência. Por meio das teorias que encarnam, os paradigmas demonstram ser constitutivos da atividade científica. Contudo, são também constitutivos da ciência em outros aspectos que nos interessam nesse momento. Mais particularmente, nossos exemplos mais recentes fornecem aos cientistas não apenas um mapa, mas também algumas das indicações essenciais para a elaboração de mapas. Ao aprender um paradigma, o cientista adquire ao mesmo tempo uma teoria, métodos e padrões científicos, que usualmente compõem uma mistura inexplicável. Por isso, quando os paradigmas mudam, ocorrem alterações significativas nos critérios que determinam a legitimidade tanto dos problemas como das soluções propostas.

Essa observação nos faz retornar ao ponto de partida deste capítulo, pois fornece nossa primeira indicação explícita da razão pela qual a escolha entre paradigmas competidores coloca comumente questões que não podem ser resolvidas pelos critérios da ciência normal. A tal ponto – e isto é significativo, embora seja apenas parte da questão – que quando duas escolas científicas discordam sobre o que é um problema e o que é uma solução, elas inevitavelmente travarão um diálogo de surdos ao debaterem os méritos relativos

dos respectivos paradigmas. Nos argumentos parcialmente circulares que habitualmente resultam desses debates, cada paradigma revelar-se-á capaz de satisfazer mais ou menos os critérios que dita para si mesmo e incapaz de satisfazer alguns daqueles ditados por seu oponente. Existem ainda outras razões para o caráter incompleto do contato lógico que sistematicamente caracteriza o debate entre paradigmas. Por exemplo, visto que nenhum paradigma consegue resolver todos os problemas que define e posto que não existem dois paradigmas que deixem sem solução exatamente os mesmos problemas, os debates entre paradigmas sempre envolvem a seguinte questão: quais são os problemas que é mais significativo ter resolvido? Tal como a questão dos padrões em competição, essa questão de valores somente pode ser respondida em termos de critérios totalmente exteriores à ciência e é esse recurso a critérios externos que – mais obviamente que qualquer outra coisa – torna revolucionários os debates entre paradigmas. Entretanto, está em jogo algo mais fundamental que padrões e valores. Até aqui argumentei tão-somente no sentido de que os paradigmas são parte constitutiva da ciência. Desejo agora apresentar uma dimensão na qual eles são também constitutivos da natureza.

9. AS REVOLUÇÕES COMO MUDANÇAS DE CONCEPÇÃO DE MUNDO

O historiador da ciência que examinar as pesquisas do passado a partir da perspectiva da historiografia contemporânea pode sentir-se tentado a proclamar que, quando mudam os paradigmas, muda com eles o próprio mundo. Guiados por um novo paradigma, os cientistas adotam novos instrumentos e orientam seu olhar em novas direções. E o que é ainda mais importante: durante as revoluções, os cientistas vêem coisas novas e diferentes quando, empregando instrumentos familiares, olham para os mesmos pontos já examinados anteriormente. É como se a comunidade profissional tivesse sido subitamente transportada para um novo planeta, onde objetos familiares são vistos sob uma luz diferente e a eles se apregam objetos desconhecidos. Certamente não ocorre nada semelhante: não há transplante geográfico; fora do laboratório os afazeres cotidianos em geral continuam como antes. Não obstante, as mudanças de paradigma realmente levam os cientistas a ver o mundo definido por seus compro-

missos de pesquisa de uma maneira diferente. Na medida em que seu único acesso a esse mundo dá-se através do que vêem e fazem, poderemos ser tentados a dizer que, após uma revolução, os cientistas reagem a um mundo diferente.

As bem conhecidas demonstrações relativas a uma alteração na forma (*gestalt*) visual evidenciam-se muito sugestivas como protótipos elementares para essas transformações. O que eram patos no mundo do cientista antes da revolução posteriormente são coelhos. Aquele que antes via o exterior da caixa desde cima depois vê seu interior desde baixo. Transformações dessa natureza, embora usualmente sejam mais graduais e quase sempre irreversíveis, acompanham comumente o treinamento científico. Ao olhar uma carta topográfica, o estudante vê linhas sobre o papel; o cartográfico vê a representação de um terreno. Ao olhar uma fotografia da câmara de Wilson, o estudante vê linhas interrompidas e confusas; o físico um registro de eventos subnucleares que lhe são familiares. Somente após várias dessas transformações de visão é que o estudante se torna um habitante do mundo do cientista, vendo o que o cientista vê e respondendo como o cientista responde. Contudo, este mundo no qual o estudante penetra não está fixado de uma vez por todas, seja pela natureza do meio ambiente, seja pela ciência. Em vez disso, ele é determinado conjuntamente pelo meio ambiente e pela tradição específica de ciência normal na qual o estudante foi treinado. Conseqüentemente, em períodos de revolução, quando a tradição científica normal muda, a percepção que o cientista tem de seu meio ambiente deve ser reeducada — deve aprender a ver uma nova forma (*gestalt*) em algumas situações com as quais já está familiarizado. Depois de fazê-lo, o mundo de suas pesquisas parecerá, aqui e ali, incomensurável com o que habitava anteriormente. Esta é uma outra razão pela qual escolas guiadas por paradigmas diferentes estão sempre em ligeiro desacordo.

Certamente, na sua forma mais usual, as experiências com a forma visual ilustram tão-somente a natureza das transformações perceptivas. Nada nos dizem sobre o papel dos paradigmas ou da experiência previamente assimilada ao processo de percepção. Sobre este ponto existe uma rica literatura psicológica, a maior parte da qual provém do tra-

balho pioneiro do Instituto Hanover. Se o sujeito de uma experiência coloca óculos de proteção munidos de lentes que invertem as imagens, vê inicialmente o mundo todo de cabeça para baixo. No começo, seu aparato perceptivo funciona tal como fora treinado para funcionar na ausência de óculos e o resultado é uma desorientação extrema, uma intensa crise pessoal. Mas logo que o sujeito começa a aprender a lidar com seu novo mundo, todo o seu campo visual se altera, em geral após um período intermediário durante o qual a visão se encontra simplesmente confundida. A partir daí, os objetos são novamente vistos como antes da utilização das lentes. A assimilação de um campo visual anteriormente anômalo reagiu sobre o próprio campo e modificou-o¹. Tanto literal como metaforicamente, o homem acostumado às lentes invertidas experimentou uma transformação revolucionária da visão.

Os sujeitos da experiência com cartas anômalas, discutida no capítulo cinco, experimentaram uma transformação bastante similar. Até aprenderem, através de uma exposição prolongada, que o universo continha cartas anômalas, viam tão-somente os tipos de cartas para as quais suas experiências anteriores os haviam equipado. Todavia, depois que a experiência em curso forneceu as categorias adicionais indispensáveis, foram capazes de perceber todas as cartas anômalas na primeira inspeção suficientemente prolongada para permitir alguma identificação. Outras experiências demonstram que o tamanho, a cor etc., percebidos de objetos apresentados experimentalmente também variam com a experiência e o treino prévios do participante². Ao examinar a rica literatura da qual esses exemplos foram extraídos, somos le-

1. As experiências originais foram realizadas por George M. Stratton, "Vision without Inversion of the Retinal Image", *Psychological Review*, IV, 1897, pp. 341-360, 463-481. Uma apresentação mais atualizada é fornecida por Harvey A. Carr, *An Introduction to Space Perception*, Nova York, 1935, pp. 18-57.

2. Para exemplos, ver Albert H. Hastorf, "The Influence of Suggestion on the Relationship between Stimulus Size and Perceived Distance", *Journal of Psychology*, XXIX, 1950, pp. 195-217; e Jerome S. Bruner, Leo Postman e John Rodrigues, "Expectations and the Perception of Colour", *American Journal of Psychology*, LXIV, 1951, pp. 216-227.

vados a suspeitar de que alguma coisa semelhante a um paradigma é um pré-requisito para a própria percepção. O que um homem vê depende tanto daquilo que ele olha como daquilo que sua experiência visual-conceitual prévia o ensinou a ver. Na ausência de tal treino, somente pode haver o que William James chamou de “confusão atordoante e intensa”.

Nos últimos anos muitos dos interessados na história da ciência consideraram muito sugestivos os tipos de experiências acima descritos. N. R. Hanson, especialmente, utilizou demonstrações relacionadas com a forma visual para elaborar algumas das mesmas consequências da crença científica com as quais me preocupo aqui³. Outros colegas indicaram repetidamente que a história da ciência teria um sentido mais claro e coerente se pudéssemos supor que os cientistas experimentam ocasionalmente alterações de percepção do tipo das acima descritas. Todavia, embora experiências psicológicas sejam sugestivas, não podem, no caso em questão, ir além disso. Elas realmente apresentam características de percepção que *poderiam* ser centrais para o desenvolvimento científico, mas não demonstram que a observação cuidadosa e controlada realizada pelo pesquisador científico partilhe de algum modo dessas características. Além disso, a própria natureza dessas experiências torna impossível qualquer demonstração direta desse ponto. Para que um exemplo histórico possa fazer com que essas experiências psicológicas pareçam relevantes, é preciso primeiro que atentemos para os tipos de provas que podemos ou não podemos esperar que a história nos forneça.

O sujeito de uma demonstração da psicologia da forma sabe que sua percepção se modificou, visto que ele pode alterá-la repetidamente, enquanto segura nas mãos o mesmo livro ou pedaço de papel. Consciente de que nada mudou em seu meio ambiente, ele dirige sempre mais a sua atenção não à figura (pato ou coelho), mas às linhas contidas no papel que está olhando. Pode até mesmo acabar aprendendo a ver essas linhas sem ver qualquer uma dessas figuras. Poderá então dizer (algo que não poderia ter feito legitimamente

antes) que o que realmente vê são essas linhas, mas que as vê alternadamente *como* um pato ou *como* um coelho. Do mesmo modo, o sujeito da experiência das cartas anômalas sabe (ou, mais precisamente, pode ser persuadido) que sua percepção deve ter se alterado, porque uma autoridade externa, o experimentador, assegura-lhe que, não obstante o que tenha visto, estava *olhando* durante todo o tempo para um cinco de copas. Em ambos os casos, tal como em todas as experiências psicológicas similares, a eficácia da demonstração depende da possibilidade de podermos analisá-la desse modo. A menos que exista um padrão exterior com relação ao qual uma alteração da visão possa ser demonstrada, não poderemos extrair nenhuma conclusão com relação a possibilidades perceptivas alternadas.

Contudo, com a observação científica, a situação inverte-se. O cientista não pode apelar para algo que esteja aquém ou além do que ele vê com seus olhos e instrumentos. Se houvesse alguma autoridade superior recorrendo à qual se pudesse mostrar que sua visão se alterara, tal autoridade tornar-se-ia a fonte de seus dados e nesse caso o comportamento de sua visão tornaria uma fonte de problemas (tal como o sujeito da experiência para o psicólogo). A mesma espécie de problemas surgiria caso o cientista pudesse alterar seu comportamento do mesmo modo que o sujeito das experiências com a forma visual. O período durante o qual a luz era considerada “algumas vezes como uma onda e outras como uma partícula” foi um período de crise – um período durante o qual algo não vai bem – e somente terminou com o desenvolvimento da mecânica ondulatória e com a compreensão de que a luz era entidade autônoma, diferente tanto das ondas como das partículas. Por isso, nas ciências, se as alterações perceptivas acompanham as mudanças de paradigma, não podemos esperar que os cientistas confirmem essas mudanças diretamente. Ao olhar a Lua, o convertido ao copernicismo não diz “costumava ver um planeta, mas agora vejo um satélite”. Tal locução implicaria afirmar que em um sentido determinado o sistema de Ptolomeu fora, em certo momento, correto. Em lugar disso, um convertido à nova astronomia diz: “antes eu acreditava que a Lua fosse um planeta (ou via a Lua como um planeta), mas estava enganado”.

3. N. R. Hanson, *Patterns of Discovery*, Cambridge, 1958, cap. I.

Esse tipo de afirmação repete-se no período posterior às revoluções científicas, pois, se em geral disfarça uma alteração da visão científica ou alguma outra transformação mental que tenha o mesmo efeito, não podemos esperar um testemunho direto sobre essa alteração. Devemos antes buscar provas indiretas e comportamentais de que um cientista com um novo paradigma vê de maneira diferente do que via anteriormente.

Retornemos então aos dados e perguntemos que tipos de transformações no mundo do cientista podem ser descobertos pelo historiador que acredita em tais mudanças. O descobrimento de Urano por Sir William Herschel fornece um primeiro exemplo que se aproxima muito da experiência das cartas anômalas. Em pelo menos dezessete ocasiões diferentes, entre 1690 e 1781, diversos astrônomos, inclusive vários dos mais eminentes observadores europeus, tinham visto uma estrela em posições que, hoje supomos, devem ter sido ocupadas por Urano nessa época. Em 1769, um dos melhores observadores desse grupo viu a estrela por quatro noites sucessivas, sem contudo perceber o movimento que poderia ter sugerido uma outra identificação. Quando, doze anos mais tarde, Herschel observou pela primeira vez o mesmo objeto, empregou um telescópio aperfeiçoado, de sua própria fabricação. Por causa disso, foi capaz de notar um tamanho aparente de disco que era, no mínimo, incomum para estrelas. Algo estava errado e em vista disso ele postergou a identificação até realizar um exame mais elaborado. Esse exame revelou o movimento de Urano entre as estrelas e por essa razão Herschel anunciou que vira um novo cometa! Somente vários meses depois, após várias tentativas infrutíferas para ajustar o movimento observado a uma órbita de cometa, é que Lexell sugeriu que provavelmente se tratava de uma órbita planetária⁴. Quando essa sugestão foi aceita, o mundo dos astrônomos profissionais passou a contar com um planeta a mais e várias estrelas a menos. Um corpo celeste, cuja aparição fora observada de quando em quando durante qua-

se um século, passou a ser visto de forma diferente depois de 1781, porque, tal como uma carta anômala, não mais se adaptava às categorias perceptivas (estrela ou cometa) fornecidas pelo paradigma anteriormente em vigor.

Contudo, a alteração de visão que permitiu aos astrônomos ver o planeta Urano não parece ter afetado somente a percepção daquele objeto já observado anteriormente. Suas consequências tiveram um alcance bem mais amplo. Embora as evidências sejam equívocas, a pequena mudança de paradigma forçada por Herschel provavelmente ajudou a preparar astrônomos para a descoberta rápida de numerosos planetas e asteróides após 1801. Devido a seu tamanho pequeno, não apresentavam o aumento anômalo que alertara Herschel. Não obstante, os astrônomos que estavam preparados para encontrar planetas adicionais foram capazes de identificar vinte deles durante os primeiros cinqüenta anos do século XIX, empregando instrumentos-padrão⁵. A história da astronomia fornece muitos outros exemplos de mudanças na percepção científica que foram induzidas por paradigmas, algumas das quais ainda menos equívocas que a anterior. Por exemplo, será possível conceber como accidental o fato de que os astrônomos somente tenham começado a ver mudanças nos céus — que anteriormente eram imutáveis — durante o meio século que se seguiu à apresentação do novo paradigma de Copérnico? Os chineses, cujas crenças cosmológicas não excluíam mudanças celestes, haviam registrado o aparecimento de muitas novas estrelas nos céus numa época muito anterior. Igualmente, mesmo sem contar com a ajuda do telescópio, os chineses registraram de maneira sistemática o aparecimento de manchas solares séculos antes de terem sido vistas por Galileu e seus contemporâneos⁶. As manchas solares e uma nova estrela não foram os únicos exemplos de mudança a surgir nos céus da astronomia ocidental imediatamente após Copérnico. Utilizando

4. Peter Doig, *A Concise History of Astronomy*, Londres, 1950, pp. 115-116.

5. Rudolph Wolf, *Geschichte der Astronomie*, Munique, 1877, pp. 513-515, 683-693. Note-se especialmente como os relatos de Wolf dificultam a explicação dessas descobertas como sendo uma consequência da lei de Bode.

6. Joseph Needham, *Science and Civilization in China*, III, Cambridge, 1959, pp. 423-429, 434-436.

instrumentos tradicionais, alguns tão simples como um pedaço de fio de linha, os astrônomos do fim do século XVI descobriram, um após o outro, que os cometas se moviam livremente através do espaço anteriormente reservado às estrelas e planetas imutáveis⁷. A própria facilidade e rapidez com que os astrônomos viam novas coisas ao olhar para objetos antigos com velhos instrumentos pode fazer com que nos sintamos tentados a afirmar que, após Copérnico, os astrônomos passaram a viver em um mundo diferente. De qualquer modo, suas pesquisas desenvolveram-se como se isso tivesse ocorrido.

Os exemplos anteriores foram selecionados na astronomia, porque os relatórios referentes a observações celestes são freqüentemente apresentados em um vocabulário composto por termos de observação relativamente puros. Somente em tais relatórios podemos ter a esperança de encontrar algo semelhante a um paralelismo completo entre as observações dos cientistas e as dos sujeitos experimentais dos psicólogos. Não precisamos contudo insistir em um paralelismo integral e teremos muito a ganhar caso relaxemos nossos padrões. Se nos contentarmos com o emprego cotidiano do verbo “ver”, poderemos rapidamente reconhecer que já encontramos muitos outros exemplos das alterações na percepção científica que acompanham a mudança de paradigma. O emprego mais amplo dos termos “percepção” e “visão” requererá em breve uma defesa explícita, mas iniciarei ilustrando sua aplicação na prática.

Voltemos a examinar por um instante os dois nossos exemplos anteriores da história da eletricidade. Durante o século XVII, quando sua pesquisa era orientada por uma ou outra teoria dos eflúvios, os eletricitistas viam seguidamente partículas de palha serem repelidas ou caírem dos corpos elétricos que as haviam atraído. Pelo menos foi isso que os observadores do século XVII afirmaram ter visto e não temos razões para duvidar mais de seus relatórios de percepção do que dos nossos. Colocado diante do mesmo aparelho, um observador moderno veria uma repulsão eletrostática (e

não uma repulsão mecânica ou gravitacional). Historicamente entretanto, com uma única exceção universalmente ignorada, a repulsão não foi vista como tal até que o aparelho em larga escala de Hauksbee ampliasse grandemente seus efeitos. Contudo, a repulsão devida à eletrificação por contato era tão-somente um dos muitos novos efeitos de repulsão que Hauksbee viu. Por meio de suas pesquisas (e não através de uma alteração da forma visual), a repulsão tornou-se repentinamente a manifestação fundamental da eletrificação e foi então que a atração precisou ser explicada⁸. Os fenômenos elétricos visíveis no início do século XVIII eram mais sutis e mais variados que os vistos pelos observadores do século XVII. Outro exemplo: após a assimilação do paradigma de Franklin, o eletricitista que olhava uma garrafa de Leyden via algo diferente do que vira anteriormente. O instrumento tornara-se um condensador, para o qual nem a forma nem o vidro da garrafa eram indispensáveis. Em lugar disso, as duas capas condutoras — uma das quais não fizera parte do instrumento original — tornaram-se proeminentes. As duas placas de metal com um não-condutor entre elas haviam gradativamente se tornado o protótipo para toda essa classe de aparelhos, como atestam progressivamente tanto as discussões escritas como as representações pictóricas⁹. Simultaneamente, outros efeitos indutivos receberam novas descrições, enquanto outros mais foram observados pela primeira vez.

Alterações dessa espécie não estão restritas à astronomia e à eletricidade. Já indicamos algumas das transformações de visão similares que podem ser extraídas da história da química. Como dissemos, Lavoisier viu oxigênio onde Priestley viu ar desflogistizado e outros não viram absolutamente nada. Contudo, ao aprender a ver o oxigênio, Lavoisier teve também que modificar sua concepção a respeito de muitas outras substâncias familiares. Por exemplo, teve que ver um mineral composto onde Priestley e seus contemporâneos haviam visto uma terra elementar. Além dessas, houve ainda

8. Duane Roller & Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge*, Cambridge, Mass., 1954, pp. 21-29.

9. Veja-se a discussão no cap. 6 e a literatura sugerida pelo texto indicado na nota 9 daquele capítulo.

7. T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution*, Cambridge, Mass., 1957, pp. 206-209.

outras mudanças. Na pior das hipóteses, devido à descoberta do oxigênio, Lavoisier passou a ver a natureza de maneira diferente. Na impossibilidade de recorrermos a essa natureza fixa e hipotética que ele “viu de maneira diferente”, o princípio de economia nos instará a dizer que, após ter descoberto o oxigênio, Lavoisier passou a trabalhar em um mundo diferente.

Dentro em breve perguntarei sobre a possibilidade de evitar essa estranha locução, mas antes disso necessitamos de mais um exemplo de seu uso – neste caso derivado de uma das partes mais conhecidas da obra de Galileu. Desde a Antigüidade remota muitas pessoas haviam visto um ou outro objeto pesado oscilando de um lado para outro em uma corda ou corrente até chegar ao estado de repouso. Para os aristotélicos – que acreditavam que um corpo pesado é movido pela sua própria natureza de uma posição mais elevada para uma mais baixa, onde alcança um estado de repouso natural – o corpo oscilante estava simplesmente caindo com dificuldade. Preso pela corrente, somente poderia alcançar o repouso no ponto mais baixo de sua oscilação após um movimento tortuoso e um tempo considerável. Galileu, por outro lado, ao olhar o corpo oscilante viu um pêndulo, um corpo que por pouco não conseguia repetir indefinidamente o mesmo movimento. Tendo visto este tanto, Galileu observou ao mesmo tempo outras propriedades do pêndulo e construiu muitas das partes mais significativas e originais de sua nova dinâmica a partir delas. Por exemplo, derivou das propriedades do pêndulo seus únicos argumentos sólidos e completos a favor da independência do peso com relação à velocidade da queda, bem como a favor da relação entre o peso vertical e a velocidade final dos movimentos descendentes nos planos inclinados¹⁰. Galileu viu todos esses fenômenos naturais de uma maneira diferente daquela pela qual tinham sido vistos anteriormente.

Por que ocorreu essa alteração de visão? Por causa do gênio individual de Galileu, sem dúvida alguma. Mas note-se

10. Galileo Galilei, *Dialogues concerning Two New Sciences*, III, trad. H. Crew e A. de Salvio, Evanston, 1946, pp. 80-81, 162-166.

que neste caso o gênio não se manifesta através de uma observação mais acurada ou objetiva do corpo oscilante. Do ponto de vista descritivo, a percepção aristotélica é tão acurada como a de Galileu. Quando este último informou que o período do pêndulo era independente da amplitude da oscilação (no caso das amplitudes superiores a noventa graus), sua concepção do pêndulo levou-o a ver muito mais regularidade do que podemos atualmente descobrir no mesmo fenômeno¹¹. Em vez disso, o que parece estar envolvido aqui é a exploração por parte de um gênio das possibilidades abertas por uma alteração do paradigma medieval. Galileu não recebeu uma formação totalmente aristotélica. Ao contrário, foi treinado para analisar o movimento em termos da teoria do *impetus*, um paradigma do final da Idade Média que afirmava que o movimento contínuo de um corpo pesado é devido a um poder interno, implantado no corpo pelo propulsor que iniciou seu movimento. João de Buridan e Nicolau Oresme, escolásticos do século XIV, que deram à teoria do *impetus* as suas formulações mais perfeitas, foram, ao que se sabe, os primeiros a ver nos movimentos oscilatórios algo do que Galileu veria mais tarde nesses fenômenos. Buridan descreve o movimento de uma corda que vibra como um movimento no qual o *impetus* é implantado pela primeira vez quando a corda é golpeada; a seguir o *impetus* é consumido ao deslocar a corda contra a resistência de sua tensão; a tensão traz então a corda para a posição original, implantando um *impetus* crescente até o ponto intermediário do movimento; depois disso o *impetus* desloca a corda na direção oposta, novamente contra a tensão da corda. O movimento continua num processo sinétrico, que pode prolongar-se indefinidamente. Mais tarde, no mesmo século, Oresme esboçou uma análise similar da pedra oscilante, análise que atualmente parece ter sido a primeira discussão do pêndulo¹². Sua concepção é certamente muito próxima daquela utilizada por Galileu na sua abordagem do pêndulo. Pelo menos no caso de Oresme (e quase certamente no de Galileu),

11. *Ibid.*, pp. 91-94, 244.

12. M. Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, Madison, Wisc., 1959, pp. 537-538, 570.

tratava-se de uma concepção que se tornou possível graças à transição do paradigma aristotélico original relativo ao movimento para o paradigma escolástico do *impetus*. Até a invenção desse paradigma escolástico não havia pêndulos para serem vistos pelos cientistas, mas tão-somente pedras oscilantes. Os pêndulos nasceram graças a algo muito similar a uma alteração da forma visual induzida por paradigma.

Contudo, precisamos realmente descrever como uma transformação da visão aquilo que separa Galileu de Aristóteles, ou Lavoisier de Priestley? Esses homens realmente *viram* coisas diferentes ao *olhar para* o mesmo tipo de objetos? Haverá algum sentido válido no qual possamos dizer que eles realizaram suas pesquisas em mundos diferentes? Essas questões não podem mais ser postergadas, pois evidentemente existe uma outra maneira bem mais usual de descrever todos os exemplos históricos esboçados acima. Muitos leitores certamente desejarão dizer que o que muda com o paradigma é apenas a interpretação que os cientistas dão às observações que estão, elas mesmas, fixadas de uma vez por todas pela natureza do meio ambiente e pelo aparato perceptivo. Dentro dessa perspectiva, tanto Priestley como Lavoisier viram oxigênio, mas interpretaram suas observações de maneira diversa; tanto Aristóteles como Galileu viram pêndulos, mas diferiram nas interpretações daquilo que tinham visto.

Direi desde logo que esta concepção muito corrente do que ocorre quando os cientistas mudam sua maneira de pensar a respeito de assuntos fundamentais não pode ser nem totalmente errônea, nem ser um simples engano. É antes uma parte essencial de um paradigma filosófico iniciado por Descartes e desenvolvido na mesma época que a dinâmica newtoniana. Esse paradigma serviu tanto à ciência como à filosofia. Sua exploração, tal como a da própria dinâmica, produziu uma compreensão fundamental que talvez não pudesse ser alcançada de outra maneira. Mas, como o exemplo da dinâmica newtoniana também indica, até mesmo o mais impressionante sucesso no passado não garante que a crise possa ser postergada indefinidamente. As pesquisas atuais que se desenvolvem em setores da filosofia, da psicologia, da lingüística e mesmo da história da arte, convergem todas

para a mesma sugestão: o paradigma tradicional está, de algum modo, equivocado. Além disso, essa incapacidade para ajustar-se aos dados torna-se cada vez mais aparente através do estudo histórico da ciência, assunto ao qual dedicamos necessariamente a maior parte de nossa atenção neste ensaio.

Nenhum desses temas promotores de crises produziu até agora uma alternativa viável para o paradigma epistemológico tradicional, mas já começaram a sugerir quais serão algumas das características desse paradigma. Estou, por exemplo, profundamente consciente das dificuldades criadas pela afirmação de que, quando Aristóteles e Galileu olharam para as pedras oscilantes, o primeiro viu uma queda constrangida e o segundo um pêndulo. As mesmas dificuldades estão presentes de uma forma ainda mais fundamental nas frases iniciais deste capítulo: embora o mundo não mude com uma mudança de paradigma, depois dela o cientista trabalha em um mundo diferente. Não obstante, estou convencido de que devemos aprender a compreender o sentido de proposições semelhantes a essa. O que ocorre durante uma revolução científica não é totalmente redutível a uma reinterpretação de dados estáveis e individuais. Em primeiro lugar, os dados não são inequivocamente estáveis. Um pêndulo não é uma pedra que cai e nem o oxigênio é ar desflogistizado. Consequentemente, os dados que os cientistas coletam a partir desses diversos objetos são, como veremos em breve, diferentes em si mesmos. Ainda mais importante, o processo pelo qual o indivíduo ou a comunidade levam a cabo a transição da queda constrangida para o pêndulo ou do ar desflogistizado para o oxigênio não se assemelha à interpretação. De fato, como poderia ser assim, dada a ausência de dados fixos para o cientista interpretar? Em vez de ser um intérprete, o cientista que abraça um novo paradigma é como o homem que usa lentes inversoras. Defrontado com a mesma constelação de objetos que antes e tendo consciência disso, ele os encontra, não obstante, totalmente transformados em muitos de seus detalhes.

Nenhuma dessas observações pretende indicar que os cientistas não se caracterizam por interpretar observações e dados. Pelo contrário: Galileu interpretou observações sobre o pêndulo, Aristóteles observações sobre as pedras que caem,

Musschenbroek aquelas relativas a uma garrafa eletricamente carregada e Franklin as sobre um condensador. Mas cada uma dessas interpretações pressupõe um paradigma. Essas eram partes da ciência normal, um empreendimento que, como já vimos, visa refinar, ampliar e articular um paradigma que já existe. O capítulo dois forneceu muitos exemplos nos quais a interpretação desempenhou um papel central. Esses exemplos tipificam a maioria esmagadora das pesquisas. Em cada um deles, devido a um paradigma aceito, o cientista sabia o que era um dado, que instrumentos podiam ser usados para estabelecê-lo e que conceitos eram relevantes para sua interpretação. Dado um paradigma, a interpretação dos dados é essencial para o empreendimento que o explora.

Esse empreendimento interpretativo – e mostrar isso foi o encargo do penúltimo parágrafo – pode somente articular um paradigma, mas não corrigi-lo. Paradigmas não podem, de modo algum, ser corrigidos pela ciência normal. Em lugar disso, como já vimos, a ciência normal leva, ao fim e ao cabo, apenas ao reconhecimento de anomalias e crises. Essas terminam não através da deliberação ou interpretação, mas por meio de um evento relativamente abrupto e não-estruturado semelhante a uma alteração da forma visual. Nesse caso, os cientistas falam freqüentemente de “vendas que caem dos olhos” ou de uma “iluminação repentina” que “inunda” um quebra-cabeça que antes era obscuro, possibilitando que seus componentes sejam vistos de uma nova maneira – a qual, pela primeira vez, permite sua solução. Em outras ocasiões, a iluminação relevante vem durante o sono¹³. Nenhum dos sentidos habituais do termo “interpretação” ajusta-se a essas iluminações da intuição através das quais nasce um novo paradigma. Embora tais intuições dependam das experiências, tanto autônomas como congruentes, obtidas através do antigo paradigma, não estão ligadas, nem

lógica nem fragmentariamente a itens específicos dessas experiências, como seria o caso de uma interpretação. Em lugar disso, as intuições reúnem grandes porções dessas experiências e as transformam em um bloco de experiências que, a partir daí, será gradativamente ligado ao novo paradigma e não ao velho.

Para aprendermos mais a respeito do que podem ser essas diferenças, retornemos por um momento a Aristóteles, Galileu e o pêndulo. Que dados foram colocados ao alcance de cada um deles pela interação de seus diferentes paradigmas e seu meio ambiente comum? Ao ver uma queda forçada, o aristotélico mediria (ou pelo menos discutiria – o aristotélico raramente media) o peso da pedra, a altura vertical à qual ela fora elevada e o tempo necessário para alcançar o repouso. Essas – e mais a resistência do meio – eram as categorias conceituais empregadas pela ciência aristotélica quando se tratava de examinar a queda dos corpos¹⁴. A pesquisa normal por elas orientada não poderia ter produzido as leis que Galileu descobriu. Poderia apenas – e foi o que fez, por outro caminho – levar à série de crises das quais emergiu a concepção galileana da pedra oscilante. Devido a essas crises e outras mudanças intelectuais, Galileu viu a pedra oscilante de forma absolutamente diversa. Os trabalhos de Arquimedes sobre os corpos flutuantes tornaram o meio algo inessencial; a teoria do *impetus* tornou o movimento simétrico e duradouro; o neoplatonismo dirigiu a atenção de Galileu para a forma circular do movimento¹⁵. Por isso, ele media apenas o peso, o raio, o deslocamento angular e o tempo por oscilação, precisamente os dados que poderiam ser interpretados de modo a produzir as leis de Galileu sobre o pêndulo. Neste caso, a interpretação demonstrou ser quase desnecessária. Dados os paradigmas de Galileu, as regularidades semelhantes ao pêndulo eram quase totalmente acessíveis à primeira vista. Senão, como poderíamos explicar a descoberta de

13. [Jacques] Hadamard, *Subconscient intuition et logique dans la recherche scientifique* (Conférence faite au Palais de la Découverte le 8 Décembre 1945) Alençon, s.d., pp. 7-8. Um relato bem mais completo, embora restrito a inovações matemáticas, encontra-se no livro do mesmo autor, *The Psychology of Invention in the Mathematical Field*, Princeton, 1949.

14. T. S. Kuhn, “A Function for Thought Experiments”, em: *Mélanges Alexandre Koyré*, ed. R. Taton e I. B. Cohen, publicado por Hermann, Paris, 1963.

15. A. Koyré, *Etudes Galiléennes*, I, Paris, 1939, 46-51; e “Galileio and Plato”, *Journal of the History of Ideas*, IV, 1943, pp. 440-428.

Galileu, segundo a qual o período da bola do pêndulo é inteiramente independente da amplitude da oscilação, quando se sabe que a ciência normal proveniente de Galileu teve que erradicar essa descoberta e que atualmente somos totalmente incapazes de documentá-la? Regularidades que não poderiam ter existido para um aristotélico (e que, de fato, não são precisamente exemplificadas pela natureza em nenhum lugar) eram, para um homem que via a pedra oscilante do mesmo modo que Galileu, uma conseqüência da experiência imediata.

Talvez o exemplo seja demasiadamente fantasista, uma vez que os aristotélicos não deixaram qualquer discussão sobre as pedras oscilantes, fenômeno que no paradigma destes era extraordinariamente complexo. Mas os aristotélicos discutiram um caso mais simples, o das pedras que caem sem entraves incomuns. Nesse caso, as mesmas diferenças de visão são evidentes. Ao contemplar a queda de uma pedra, Aristóteles via uma mudança de estado, mais do que um processo. Por conseguinte, para ele as medidas relevantes de um movimento eram a distância total percorrida e o tempo total transcorrido, parâmetros esses que produzem o que atualmente chamaríamos não de velocidade, mas de velocidade média¹⁶. De maneira similar, por ser a pedra impulsionada por sua natureza e alcançar seu ponto final de repouso, Aristóteles via, como parâmetro de distância relevante para qualquer instante no decorrer do movimento, a distância até o ponto final, mais do que aquela a partir do ponto de origem do movimento¹⁷. Esses parâmetros conceituais servem de base e dão um sentido à maior parte de suas bem conhecidas leis do movimento. Entretanto, em parte devido ao paradigma do *impetus* e em parte devido a uma doutrina conhecida como a latitude das formas, a crítica escolástica modificou essa maneira de ver o movimento. Uma pedra movida pelo *impetus* recebe mais e mais *impetus* ao afastar-se de seu ponto de partida; por isso, o parâmetro relevante passou a ser a *distância a partir do*, em lugar da *distância até o*.

16. T. S. Kuhn, "A Function for Thought Experiments", em: *Mélanges Alexandre Koyré* (ver nota 14 para uma citação completa).

17. A. Koyré, *Etudes Galiléennes*, II, pp. 7-11.

Além disso, os escolásticos bifurcaram a noção aristotélica de velocidade em conceitos que, pouco depois de Galileu, se tornaram as nossas velocidades média e velocidade instantânea. Mas, quando examinados a partir do paradigma do qual essas concepções faziam parte, tanto a pedra que cai como o pêndulo exibiam as leis que os regem quase à primeira vista. Galileu não foi o primeiro a sugerir que as pedras caem em movimento uniformemente acelerado¹⁸. Além disso, ele desenvolvera seu teorema sobre este assunto, juntamente com muitas de suas conseqüências, antes de realizar suas experiências com o plano inclinado. Esse teorema foi mais um elemento na rede de novas regularidades, acessíveis ao gênio, em um mundo conjuntamente determinado pela natureza e pelos paradigmas com os quais Galileu e seus contemporâneos haviam sido educados. Vivendo em tal mundo, Galileu ainda poderia, quando quisesse, explicar por que Aristóteles vira o que viu. Não obstante, o conteúdo imediato da experiência de Galileu com a queda de pedras não foi o mesmo da experiência realizada por Aristóteles.

Por certo não está de modo algum claro que precisemos preocupar-nos tanto com a "experiência imediata" — isto é, com os traços perceptivos que um paradigma destaca de maneira tão notável que eles revelam suas regularidades quase à primeira vista. Tais traços devem obviamente mudar com os compromissos do cientista a paradigmas, mas estão longe do que temos em mente quando falamos dos dados não-elaborados ou da experiência bruta, dos quais se acredita procedem a pesquisa científica. Talvez devêssemos deixar de lado a experiência imediata e, em vez disso, discutir as operações e medições concretas que os cientistas realizam em seus laboratórios. Ou talvez a análise deva distanciar-se ainda mais do imediatamente dado. Por exemplo, poderia ser levada a cabo em termos de alguma linguagem de observação neutra, talvez uma linguagem ajustada às impressões de retina que servem de intermediário para aquilo que o cientista vê. Somente procedendo de uma dessas maneiras é que podemos ter a esperança de reaver uma região na qual a experiência seja novamente estável, de uma vez para sempre

18. Clagett, *op. cit.*, caps. IV, VI e IX.

— na qual o pêndulo e a queda violenta não são percepções diferentes, mas interpretações diferentes de dados inequívocos, proporcionados pela observação de uma pedra que oscila.

Mas a experiência dos sentidos é fixa e neutra? Serão as teorias simples interpretações humanas de determinados dados? A perspectiva epistemológica que mais frequentemente guiou a filosofia ocidental durante três séculos impõe um “sim!” imediato e inequívoco. Na ausência de uma alternativa já desenvolvida, considero impossível abandonar inteiramente essa perspectiva. Todavia ela já não funciona efetivamente e as tentativas para fazê-la funcionar por meio da introdução de uma linguagem de observação neutra parecem-me agora sem esperança.

As operações e medições que um cientista empreende em um laboratório não são “o dado” da experiência, mas “o coletado com dificuldade”. Não são o que o cientista vê — pelo menos até que sua pesquisa se encontre bem adiantada e sua atenção esteja focalizada —; são índices concretos para os conteúdos das percepções mais elementares. Como tais, são selecionadas para o exame mais detido da pesquisa normal, tão-somente porque parecem oferecer uma oportunidade para a elaboração frutífera de um paradigma aceito. As operações e medições, de maneira muito mais clara do que a experiência imediata da qual em parte derivam, são determinadas por um paradigma. A ciência não se ocupa com todas as manifestações possíveis no laboratório. Ao invés disso, seleciona aquelas que são relevantes para a justaposição de um paradigma com a experiência imediata, a qual, por sua vez, foi parcialmente determinada por esse mesmo paradigma. Disso resulta que cientistas com paradigmas diferentes empenham-se em manipulações concretas de laboratório diferentes. As medições que devem ser realizadas no caso de um pêndulo não são relevantes no caso da queda constrangida. Tampouco as operações relevantes para a elucidação das propriedades do oxigênio são precisamente as mesmas que as requeridas na investigação das características do ar desflogistizado.

Quanto a uma linguagem de observação pura, talvez ainda se chegue a elaborar uma. Mas, três séculos após Descartes, nossa esperança que isso ocorra ainda depende exclu-

sivamente de uma teoria da percepção e do espírito. Por sua vez, a experimentação psicológica moderna está fazendo com que proliferem rapidamente fenômenos que essa teoria tem grande dificuldade em tratar. O pato-coelho mostra que dois homens com as mesmas impressões na retina podem ver coisas diferentes; as lentes inversoras mostram que dois homens com impressões de retina diferentes podem ver a mesma coisa. A psicologia fornece uma grande quantidade de evidência no mesmo sentido e as dúvidas que dela derivam aumentam ainda mais quando se considera a história das tentativas para apresentar uma linguagem de observação efetiva. Nenhuma das tentativas atuais conseguiu até agora aproximar-se de uma linguagem de objetos de percepção puros, aplicável de maneira geral. E as tentativas que mais se aproximaram desse objetivo compartilham uma característica que reforça vigorosamente diversas das teses principais deste ensaio. Elas pressupõem, desde o início, um paradigma, seja na forma de uma teoria científica em vigor, seja na forma de alguma fração do discurso cotidiano; tentam então depurá-lo de todos os seus termos não-lógicos ou não-perceptivos. Em alguns campos do discurso esse esforço foi levado bem longe, com resultados bastante fascinantes. Está fora de dúvida que esforços desse tipo merecem ser levados adiante. Mas seu resultado é uma linguagem que — tal como aquelas empregadas nas ciências expressam inúmeras expectativas sobre a natureza e deixam de funcionar no momento em que essas expectativas são violadas. Nelson Goodman insiste precisamente sobre esse ponto ao descrever os objetivos do seu *Structure of Appearance*: “É afortunado que nada mais (do que os fenômenos conhecidos) esteja em questão; já a noção de casos “possíveis”, casos que não existem, mas poderiam ter existido, está longe de ser clara”¹⁹. Nenhuma linguagem

19. N. Goodman, *The Structure of Appearance*, Cambridge, Mass., 1951, pp. 4-5. A passagem merece uma citação extensa: “Se todos os indivíduos (e somente esses) residentes de Wilmington em 1947 que pesam entre 175 e 180 libras têm cabelos ruivos, então ‘o residente de Wilmington em 1947 que tem cabelos ruivos’ e ‘o residente de Wilmington em 1947 que pesa entre 175 e 180 libras’ podem ser reunidos numa definição construída (*constructional definition*) [...] A questão de saber se ‘pode ter havido’ alguém a quem se aplica um desses predicados, mas não o outro, não tem sentido [...] uma vez que

limitada desse modo a relatar um mundo plenamente conhecido de antemão pode produzir meras informações neutras e objetivas sobre “o dado”. A investigação filosófica ainda não forneceu nem sequer uma pista do que poderia ser uma linguagem capaz de realizar tal tarefa.

Nessas circunstâncias, podemos pelo menos suspeitar que os cientistas têm razão, tanto em termos de princípio como na prática, quando tratam o oxigênio e os pêndulos (e talvez também os átomos e elétrons) como ingredientes fundamentais de sua experiência imediata. O mundo do cientista, devido à experiência da raça, da cultura e, finalmente, da profissão, contida no paradigma, veio a ser habitado por planetas e pêndulos, condensadores e minerais compostos e outros corpos do mesmo tipo. Comparadas com esses objetos da percepção, tanto as leituras de um medidor como as impressões de retina são construções elaboradas às quais a experiência somente tem acesso direto quando o cientista, tendo em vista os objetivos especiais de sua investigação, providencia para que isso ocorra. Não queremos com isso sugerir que os pêndulos, por exemplo, sejam a única coisa que um cientista poderá ver ao olhar uma pedra oscilante. (Já observamos que membros de outra comunidade científica poderiam ver uma queda constrangida.) Queremos sugerir que o cientista que olha para a oscilação de uma pedra não pode ter nenhuma experiência que seja, em princípio, mais elementar que a visão de um pêndulo. A alternativa não é uma hipotética visão “fixa”, mas a visão através de um paradigma que transforme a pedra oscilante em alguma outra coisa.

Tudo isso parecerá mais razoável se recordarmos mais uma vez que, nem o cientista, nem o leigo aprendem a ver o mundo gradualmente ou item por item. A não ser quando todas as categorias conceituais e de manipulação estão preparadas de antemão — por exemplo, para a descoberta de um elemento transurânico adicional ou para captar a imagem de uma nova casa tanto os cientistas como os leigos deixam de lado áreas inteiras do fluxo da experiência. A criança que

tenhamos determinado que tal indivíduo não existe [...] É uma sorte que nada mais esteja em questão; pois a noção de casos ‘possíveis’, de casos que não existem mas poderiam ter existido, está longe de ser clara”.

transfere a aplicação da palavra “mamãe” de todos os seres humanos para todas as mulheres e então para a sua mãe não está apenas aprendendo o que “mamãe” significa ou quem é a sua mãe. Simultaneamente, está aprendendo algumas das diferenças entre homens e mulheres, bem como algo sobre a maneira na qual apenas uma mulher comporta-se em relação a ela. Suas reações, expectativas e crenças — na verdade, grande parte de seu mundo percebido — mudam de acordo com esse aprendizado. Pelo mesmo motivo, os copernicanos que negaram ao Sol seu título tradicional de “planeta” não estavam apenas aprendendo o que “planeta” significa ou o que era o Sol. Em lugar disso, estavam mudando o significado de “planeta”, a fim de que essa expressão continuasse sendo capaz de estabelecer distinções úteis num mundo no qual todos os corpos celestes e não apenas o Sol estavam sendo vistos de uma maneira diversa daquela na qual haviam sido vistos anteriormente. A mesma coisa poderia ser dita a respeito de qualquer um dos nossos exemplos anteriores. Ver o oxigênio em vez do ar desflogistizado, o condensador em vez da garrafa de Leyden ou o pêndulo em vez da queda constrangida, foi somente uma parte de uma alteração integrada na visão que o cientista possuía de muitos fenômenos químicos, elétricos ou dinâmicos. Os paradigmas determinam ao mesmo tempo grandes áreas da experiência.

Contudo, é somente após a experiência ter sido determinada dessa maneira que pode começar a busca de uma definição operacional ou de uma linguagem de observação pura. O cientista ou filósofo, que pergunta que medições ou impressões da retina fazem do pêndulo o que ele é, já deve ser capaz de reconhecer um pêndulo quando o vê. Se em lugar do pêndulo ele visse uma queda constrangida, sua questão nem mesmo poderia ter sido feita. E se ele visse um pêndulo, mas o visse da mesma maneira com que vê um diapasão ou uma balança de vibração, sua questão não poderia ter sido respondida. Pelo menos não poderia ter sido respondida da mesma maneira, porque já não se trataria da mesma questão. Por isso, embora elas sejam sempre legítimas e em determinadas ocasiões extraordinariamente frutíferas, as questões a respeito das impressões da retina ou sobre as consequências

de determinadas manipulações de laboratório pressupõem um mundo já subdividido perceptual e conceitualmente de acordo com uma certa maneira. Num certo sentido, tais questões são partes da ciência normal, pois dependem da existência de um paradigma e recebem respostas diferentes quando ocorre uma mudança de paradigma.

Para concluir este capítulo, vamos daqui para diante negligenciar as impressões da retina e restringir novamente nossa atenção às operações de laboratório que fornecem ao cientista índices concretos, embora fragmentários, para o que ele já viu. Uma das maneiras pelas quais tais operações de laboratório mudam juntamente com os paradigmas já foi observada repetidas vezes. Após uma revolução científica, muitas manipulações e medições antigas tornam-se irrelevantes e são substituídas por outras. Não se aplicam exatamente os mesmos testes para o oxigênio e para o ar desflogistizado. Mas mudanças dessa espécie nunca são totais. Não importa o que o cientista possa então ver, após a revolução o cientista ainda está olhando para o mesmo mundo. Além disso, grande parte de sua linguagem e a maior parte de seus instrumentos de laboratório continuam sendo os mesmos de antes, embora anteriormente ele os possa ter empregado de maneira diferente. Em consequência disso, a ciência pós-revolucionária invariavelmente inclui muitas das mesmas manipulações, realizadas com os mesmos instrumentos e descritas nos mesmos termos empregados por sua predecessora pré-revolucionária. Se alguma mudança ocorreu com essas manipulações duradouras, esta deve estar nas suas relações com o paradigma ou nos seus resultados concretos. Sugiro agora, com a introdução de um último exemplo, que todas essas duas espécies de mudança ocorrem. Examinando a obra de Dalton e seus contemporâneos, descobriremos que uma e a mesma operação, quando vinculada à natureza por meio de um paradigma diferente, pode tornar-se um índice para um aspecto bastante diferente de uma regularidade da natureza. Além disso, veremos que ocasionalmente a antiga manipulação, no seu novo papel, produzirá resultados concretos diferentes.

Durante grande parte do século XVIII e mesmo no XIX, os químicos europeus acreditavam quase universalmente que

os átomos elementares, com os quais eram constituídas todas as espécies químicas, se mantinham unidos por forças de afinidade mútuas. Assim, uma massa uniforme de prata mantinha-se unida devido às forças de afinidade entre os corpúsculos de prata (mesmo depois de Lavoisier esses corpúsculos eram pensados como sendo compostos de partículas ainda mais elementares). Dentro dessa mesma teoria, a prata dissolvia-se no ácido (ou o sal na água) porque as partículas de ácido atraíam as da prata (ou as partículas de água atraíam as de sal) mais fortemente do que as partículas desses solutos atraíam-se mutuamente. Ou ainda: o cobre dissolver-se-ia numa solução de prata e precipitado de prata porque a afinidade cobre-ácido era maior que a afinidade entre o ácido e a prata. Um grande número de outros fenômenos era explicado da mesma maneira. No século XVIII, a teoria da afinidade eletiva era um paradigma químico admirável, larga e algumas vezes frutiferamente utilizado na concepção e análise da experimentação química²⁰.

Entretanto, a teoria da afinidade traçou os limites separando as misturas físicas dos compostos químicos de uma maneira que, desde a assimilação da obra de Dalton, deixou de ser familiar. Os químicos do século XVIII reconheciam duas espécies de processos. Quando a mistura produzia calor, luz, efervescência ou alguma coisa da mesma espécie, considerava-se que havia ocorrido a união química. Se, por outro lado, as partículas da mistura pudessem ser distinguidas a olho nu ou separadas mecanicamente, havia apenas mistura física. Mas, para o grande número de casos intermediários — o sal na água, a fusão de metais, o vidro, o oxigênio na atmosfera e assim por diante — esses critérios grosseiros tinham pouca utilidade. Guiados por seu paradigma, a maioria dos químicos concebia essa faixa intermediária como sendo química, porque os processos que a compunham eram todos governados por forças da mesma espécie. Sal na água ou oxigênio no nitrogênio eram exemplos de combinação química tão apropriados como a combinação produzida pela oxidação do cobre. Os argumentos para que se concebesse as

20. H. Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, Paris, 1930, pp. 34-68.

soluções como compostos eram muito fortes. A própria teoria da afinidade fora bem confirmada. Além disso, a formação de um composto explicava a homogeneidade observada numa solução. Se, por exemplo, o oxigênio e o nitrogênio fossem somente misturados e não combinados na atmosfera, então o gás mais pesado, o oxigênio, deveria depositar-se no fundo. Dalton, que considerava a atmosfera uma mistura, nunca foi capaz de explicar satisfatoriamente por que o oxigênio não se comportava dessa maneira. A assimilação de sua teoria atômica acabou criando uma anomalia onde anteriormente não havia nenhuma²¹.

Somos tentados a afirmar que os químicos que concebiam as soluções como compostos diferiam de seus antecessores somente quanto a uma questão de definição. Em um certo sentido, pode ter sido assim. Mas esse sentido não é aquele que faz das definições meras comodidades convencionais. No século XVIII, as misturas não eram plenamente distinguíveis dos compostos através de testes operacionais e talvez não pudessem sê-lo. Mesmo se os químicos tivessem procurado descobrir tais testes, teriam buscado critérios que fizessem da solução um composto. A distinção mistura-composto fazia parte de seu paradigma — parte da maneira como os químicos concebiam todo seu campo de pesquisas — e como tal ela era anterior a qualquer teste de laboratório, embora não fosse anterior à experiência acumulada da química como um todo.

Mas, enquanto a química era concebida dessa maneira, os fenômenos químicos exemplificavam leis diferentes daquelas que emergiram após a assimilação do novo paradigma de Dalton. Mais especificamente, enquanto as soluções permaneceram como compostos, nenhuma quantidade de experiências químicas poderia ter produzido por si mesma a lei das proporções fixas. Ao final do século XVIII era amplamente sabido que *alguns* compostos continham comumente proporções fixas correspondentes ao peso de seus componentes. O químico alemão Richter chegou mesmo a notar, para

21. *Ibid.*, pp. 124-129, 139-148. No tocante a Dalton, ver Leonard Nash, "The Atomic-Molecular Theory", *Harvard Case Histories in Experimental Science*, Case 4; Cambridge, Mass., 1950, pp. 14-21.

algumas categorias de reações, as regularidades adicionais atualmente abarcadas pela lei dos equivalentes químicos²². No entanto nenhum químico fez uso dessas regularidades, exceto em receitas e, quase até o fim do século, nenhum deles pensou em generalizá-las. Dados os contra-exemplos óbvios, como o vidro e o sal na água, nenhuma generalização era possível sem o abandono da teoria da afinidade e uma reconceptualização dos limites dos domínios da química. Essa conclusão tornou-se explícita ao final do século, num famoso debate entre os químicos franceses Proust e Berthollet. O primeiro sustentava que todas as reações químicas ocorriam segundo proporções fixas; o segundo negava que isso ocorresse. Ambos reuniram evidências experimentais impressionantes em favor de sua concepção. Não obstante, os dois mantiveram um diálogo de surdos e o debate foi totalmente inconclusivo. Onde Berthollet via um composto que podia variar segundo proporções, Proust via apenas uma mistura física²³. Nem experiências, nem uma mudança nas convenções de definição poderiam ser relevantes para essa questão. Os dois cientistas divergiam tão fundamentalmente como Galileu e Aristóteles.

Essa era a situação durante os anos quando John Dalton empreendeu as investigações que levaram finalmente à sua famosa teoria atômica da química. Mas até os últimos estágios dessas investigações, Dalton não era um químico e nem estava interessado em química. Era um meteorologista investigando o que para ele eram os problemas físicos da absorção de gases pela água e da água pela atmosfera. Em parte porque fora treinado numa especialidade diferente e em parte devido a seu próprio trabalho nessa especialidade, Dalton abordou esses problemas com um paradigma diferente daquele empregado pelos químicos seus contemporâneos. Mais particularmente, concebeu a mistura de gases ou a absorção de um gás pela água como um processo físico, no

22. J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, 2.^a ed., Londres, 1951, pp. 161-163.

23. A. N. Meldrum, "The Development of the Atomic Theory: (1) Berthollet's Doctrine of Variable Proportions", em: *Manchester Memoirs*, LIV, 1910, pp. 1-16.

qual as forças de afinidade não desempenhavam nenhum papel. Por isso, para ele, a homogeneidade que fora observada nas soluções era um problema, mas um problema que ele pensava poder resolver caso pudesse determinar os tamanhos e os pesos relativos das várias partículas atômicas nas suas misturas experimentais. Foi para determinar esses tamanhos e pesos que Dalton se voltou finalmente para a química, supondo desde o início que, no âmbito restrito das reações que considerava químicas, os átomos somente poderiam combinar-se numa proporção de um para um ou em alguma outra proporção de simples números inteiros²⁴. Esse pressuposto inicial permitiu-lhe determinar os tamanhos e os pesos das partículas elementares, mas também fez da lei das proporções constantes uma tautologia. Para Dalton, qualquer reação na qual os ingredientes não entrassem em proporções fixas não era, *ipso facto*, um processo puramente químico. Uma lei que as experiências não poderiam ter estabelecido antes dos trabalhos de Dalton tornou-se, após a aceitação destes, num princípio constitutivo que nenhum conjunto isolado de medições químicas poderia ter perturbado. Em consequência daquilo que talvez seja o nosso exemplo mais completo de uma revolução científica, as mesmas manipulações químicas assumiram uma relação com a generalização química muito diversa daquela que anteriormente tinham.

É desnecessário dizer que as conclusões de Dalton foram amplamente atacadas ao serem anunciadas pela primeira vez. Berthollet, sobretudo, nunca foi convencido. Considerando-se a natureza da questão, não era preciso convencê-lo. Mas para a maior parte dos químicos, o novo paradigma de Dalton demonstrou ser convincente onde o de Proust não o fora, visto ter implicações muito mais amplas e mais importantes do que um critério para distinguir uma mistura de um composto. Se, por exemplo, os átomos somente podiam combinar-se quimicamente segundo proporções simples de números inteiros, então um réexame dos dados químicos existentes deveria revelar tanto exemplos de

proporções múltiplas como de proporções fixas. Os químicos deixaram de escrever que os dois óxidos de, por exemplo, carbono, continham 56 por cento e 72 por cento de oxigênio por peso; em lugar disso, passaram a escrever que um peso de carbono combinar-se-ia ou com 1,3 ou com 2,6 pesos de oxigênio. Quando os resultados das antigas manipulações foram computados dessa maneira, saltou à vista uma proporção de 2:1. Isso ocorreu na análise de muitas reações bem conhecidas, bem como na de algumas reações novas. Além disso, o paradigma de Dalton tornou possível a assimilação da obra de Richter e a percepção de sua ampla generalidade. Sugeriu também novas experiências, especialmente as de Gay-Lussac sobre a combinação de volumes, as quais tiveram como resultado novas regularidades, com as quais os cientistas nunca haviam sonhado antes. O que os químicos tomaram de Dalton não foram novas leis experimentais, mas uma nova maneira de praticar a química (ele próprio chamou-a de “novo sistema de filosofia química”), que se revelou tão frutífera que somente alguns químicos mais velhos, na França e na Grã-Bretanha, foram capazes de opor-se a ela²⁵. Em consequência disso, os químicos passaram a viver em um mundo no qual as reações químicas se comportavam de maneira bem diversa do que tinham feito anteriormente.

Enquanto tudo isso se passava, ocorria uma outra mudança típica e muito importante. Aqui e ali, os próprios dados numéricos da química começaram a mudar. Quando Dalton consultou pela primeira vez a literatura química em busca de dados que corroborassem sua teoria física, encontrou alguns registros de reações que se ajustavam a ela, mas dificilmente poderia ter deixado de encontrar outras que não se ajustavam. Por exemplo, as medições do próprio Proust sobre os dois óxidos de cobre indicaram uma proporção de peso de oxigênio de 1,47:1, em lugar dos 2:1 exigidos pela teoria atômica; e Proust é precisamente o homem do qual

24. L. K. Nash, “The Origin of Dalton’s Chemical Atomic Theory”, *Isis*, XLVII, 1956, pp. 101-116.

25. A. N. Meldrum, “The Development of the Atomic Theory (6) Reception Accorded to the Theory Advocated by Dalton”, em: *Manchester Memoirs*, LV, 1911, pp. 1-10.

poderíamos esperar que chegasse à proporção de Dalton²⁶. Ele era um excelente experimentador e sua concepção da relação entre misturas e compostos era muito próxima da de Dalton. Mas é difícil fazer com que a natureza se ajuste a um paradigma. É por isso que os quebra-cabeças da ciência normal constituem tamanho desafio e as medições realizadas sem a orientação de um paradigma raramente levam a alguma conclusão. Por isso, os químicos não poderiam simplesmente aceitar a teoria de Dalton com base nas evidências existentes, já que uma grande parte destas ainda era negativa. Em lugar disso, mesmo após a aceitação da teoria, eles ainda tinham que forçar a natureza a conformar-se a ela, processo que no caso envolveu quase toda uma outra geração. Quando isto foi feito, até mesmo a percentagem de composição de compostos bem conhecidos passou a ser diferente. Os próprios dados haviam mudado. Este é o último dos sentidos no qual desejamos dizer que, após uma revolução, os cientistas trabalham em um mundo diferente.

10. A INVISIBILIDADE DAS REVOLUÇÕES

Ainda nos resta perguntar como terminam as revoluções científicas. No entanto, antes de fazê-lo, parece necessário realizar uma última tentativa no sentido de reforçar a convicção do leitor quanto à sua existência e natureza. Tentei até aqui descrever as revoluções através de ilustrações: tais exemplos podem multiplicar-se *ad nauseam*. Mas é claro que a maior parte das ilustrações, que foram selecionadas por sua familiaridade, são habitualmente consideradas não como revoluções mas como adições ao conhecimento científico. Poder-se-ia considerar qualquer ilustração suplementar a partir dessa perspectiva e é provável que o exemplo resultasse ineficaz. Creio que existem excelentes razões para que as revoluções sejam quase totalmente invisíveis. Grande parte da imagem que cientistas e leigos têm da atividade científica criadora provém de uma fonte autorizada que disfarça sistematicamente – em parte devido a razões funcionais importantes – a existência e o significado das revoluções científicas. Somente após o reconhecimento e a análise dessa autoridade

26. Quanto a Proust ver Meldrum, "Berthollet's Doctrine of Variable Proportions", *Manchester Memoirs*, LIV, 1910, p. 8. A história detalhada das mudanças graduais nas medições da composição química e dos pesos atômicos ainda está por ser escrita, mas Partington, *op cit.*, fornece muitas indicações úteis.

ou outro argumento acabará persuadindo muitos deles. Mas não existe um único argumento que possa ou deva persuadi-los todos. Mais que uma conversão de um único grupo, o que ocorre é uma crescente alteração na distribuição de adesões profissionais.

No início o novo candidato a paradigma poderá ter poucos adeptos e em determinadas ocasiões os motivos destes poderão ser considerados suspeitos. Não obstante, se eles são competentes aperfeiçoarão o paradigma, explorando suas possibilidades e mostrando o que seria pertencer a uma comunidade guiada por ele. Na medida em que esse processo avança, se o paradigma estiver destinado a vencer sua luta, o número e a força de seus argumentos persuasivos aumentará. Muitos cientistas serão convertidos e a exploração do novo paradigma prosseguirá. O número de experiências, instrumentos, artigos e livros baseados no paradigma multiplicar-se-á gradualmente. Mais cientistas, convencidos da fecundidade da nova concepção, adotarão a nova maneira de praticar a ciência normal, até que restem apenas alguns poucos opositores mais velhos. E mesmo estes não podemos dizer que estejam errados. Embora o historiador sempre possa encontrar homens — Priestley, por exemplo — que não foram razoáveis ao resistir por tanto tempo, não encontrará um ponto onde a resistência torna-se ilógica ou acientífica. Quando muito ele poderá querer dizer que o homem que continua a resistir após a conversão de toda a sua profissão deixou *ipso facto* de ser um cientista.

12. O PROGRESSO ATRAVÉS DE REVOLUÇÕES

Nas páginas precedentes apresentei uma descrição esquemática do desenvolvimento científico de maneira tão elaborada quanto era possível neste ensaio. Entretanto, essas páginas não podem proporcionar uma conclusão. Se essa descrição captou a estrutura essencial da evolução contínua da ciência, colocou ao mesmo tempo um problema especial: por que o empreendimento científico progride regularmente utilizando meios que a arte, a teoria política ou a filosofia não podem empregar? Por que será o progresso uma prerrogativa reservada quase exclusivamente para a atividade que chamamos ciência? As respostas mais usuais para essa questão foram recusadas no corpo deste ensaio. Temos que concluí-lo perguntando se é possível encontrar respostas substitutivas.

Percebe-se imediatamente que parte da questão é inteiramente semântica. O termo ciência está reservado, em grande medida, para aquelas áreas que progridem de uma maneira óbvia. Mais do que em qualquer outro lugar, nota-se

isso claramente nos debates recorrentes sobre a cientificidade de uma ou outra ciência social contemporânea. Tais debates apresentam paralelos com os períodos pré-paradigmáticos em áreas que atualmente são rotuladas de científicas sem hesitação. O objeto ostensivo dessas discussões consiste numa definição desse termo vexatório. Por exemplo, alguns argumentam que a psicologia é uma ciência porque possui tais e tais características. Outros, ao contrário, argumentam que tais características são desnecessárias ou não são suficientes para converter esse campo de estudos numa ciência. Muitas vezes investe-se grande quantidade de energia numa discussão desse gênero, despertam-se grandes paixões, sem que o observador externo saiba por quê. Uma *definição* de ciência possui tal importância? Pode uma definição indicar-nos se um homem é ou não um cientista? Se é assim, por que os artistas e os cientistas naturais não se preocupam com a definição do termo? Somos inevitavelmente levados a suspeitar de que está em jogo algo mais fundamental. Provavelmente estão sendo colocadas outras perguntas, como as seguintes: por que minha área de estudos não progride do mesmo modo que a física? Que mudanças de técnica, método ou ideologia fariam com que progredisse? Entretanto, essas não são perguntas que possam ser respondidas através de um acordo sobre definições. Se vale o precedente das ciências naturais, tais questões não deixariam de ser uma fonte de preocupações caso fosse encontrada uma definição, mas somente quando os grupos que atualmente duvidam de seu status chegassem a um consenso sobre suas realizações passadas e presentes. Por exemplo, talvez seja significativo que os economistas discutam menos sobre a cientificidade de seu campo de estudo do que profissionais de outras áreas da ciência social. Deve-se isso ao fato de os economistas saberem o que é ciência? Ou será que estão de acordo a respeito da economia?

Essa afirmação possui uma recíproca que, embora já não seja simplesmente semântica, pode auxiliar a exposição das conexões inextricáveis entre nossas noções de ciência e progresso. Por muitos séculos, tanto na Antiguidade como nos primeiros tempos da Europa moderna, a pintura foi considerada como a disciplina cumulativa por excelência. Supunha-se então que o objetivo do artista era a representação.

Críticos e historiadores, como Plínio e Vasari, registravam com veneração a série de invenções que, do escorço ao claro-escuro, haviam tornado possíveis representações sempre mais perfeitas da natureza¹. Mas nesse período, e especialmente durante a Renascença, não se estabelecia uma clivagem muito grande entre as ciências e as artes. Leonardo, entre muitos outros, passava livremente de um campo para outro. Uma separação categórica entre a ciência e a arte surgiu somente mais tarde². Além disso, mesmo após a interrupção desse intercâmbio contínuo, o termo “arte” continuou a ser aplicado tanto à tecnologia como ao artesanato, que também eram considerados como passíveis de aperfeiçoamento, tal como a pintura e a escultura. Foi somente quando essas duas últimas disciplinas renunciaram de modo inequívoco fazer da representação seu objetivo último e começaram novamente a aprender com modelos primitivos que a separação atual adquiriu toda sua profundidade. Mesmo hoje em dia, parte das nossas dificuldades para perceber as diferenças profundas que separam a ciência e a tecnologia deve estar relacionada com o fato de o progresso ser um atributo óbvio dos dois campos. Contudo, reconhecer que tendemos a considerar como científica qualquer área de estudos que apresente um progresso marcante ajuda-nos apenas a esclarecer, mas não a resolver nossa dificuldade atual. Permanece ainda o problema de compreender por que o progresso é uma característica notável em um empreendimento conduzido com as técnicas e os objetivos que descrevemos neste ensaio. Tal pergunta possui diversos aspectos e teremos que examinar cada um deles separadamente. Em todos esses aspectos, com exceção do último, a solução dependerá da inversão de nossa concepção normal das relações entre a atividade científica e a comunidade que a pratica. Precisamos aprender a reconhecer como causas o que em geral temos considerado como efeitos. Se pudermos fazer isso, as

1. E. H. Gombrich, *Art and Illusion: A Study in the Psychology of Pictorial Representation*, Nova York, 1960, pp. 11-12.

2. *Ibid.*, p. 97 e Giorgio de Santillana, “The Role of Art in the Scientific Renaissance”, em *Critical Problems in the History of Science*, ed. M. Clagett, Madison, Wis., 1959, pp. 33-65.

expressões “progresso científico” e mesmo “objetividade científica” poderão parecer redundantes. Na realidade, acabamos de ilustrar um aspecto dessa redundância. Um campo de estudos progride porque é uma ciência ou é uma ciência porque progride?

Perguntemos agora por que um empreendimento como a ciência normal deve progredir, começando por recordar algumas de suas características mais salientes. Normalmente, os membros de uma comunidade científica amadurecida trabalham a partir de um único paradigma ou conjunto de paradigmas estreitamente relacionados. Raramente comunidades científicas diferentes investigam os mesmos problemas. Em tais casos excepcionais, os grupos partilham vários dos principais paradigmas. Entretanto, examinando-se a questão a partir de uma única comunidade, de cientistas ou não-cientistas, o resultado do trabalho criador bem sucedido é o progresso. Como poderia ser de outra forma? Por exemplo, acabamos de observar que enquanto os artistas tiveram como objetivo a representação, tanto os críticos como os historiadores registraram o progresso do grupo, que aparentemente era unido. Outras áreas de criatividade apresentam progressos do mesmo gênero. O teólogo que articula o dogma ou o filósofo que aperfeiçoa os imperativos kantianos contribuem para o progresso, ainda que apenas para o do grupo que compartilha de suas premissas. Nenhuma escola criadora reconhece uma categoria de trabalho que, de um lado, é um êxito criador, mas que, de outro, não é uma adição às realizações coletivas do grupo. Se, como fazem muitos, duvidamos de que áreas não-científicas realizem progressos, isso não se deve ao fato de que escolas individuais não progredam. Deve-se antes à existência de escolas competidoras, cada uma das quais questiona constantemente os fundamentos alheios. Quem, por exemplo, argumenta que a filosofia não progrediu, sublinha o fato de que ainda existam aristotélicos e não que o aristotelismo tenha estagnado. Contudo, tais dúvidas a respeito do progresso também surgem nas ciências. Durante o período pré-paradigmático, quando temos uma multiplicidade de escolas em competição, torna-se muito difícil encontrar provas de progresso, a não ser no interior das escolas. O capítulo um descreveu esse período como

sendo aquele no qual os indivíduos praticam a ciência, mas os resultados de seu empreendimento não se acrescentam à ciência, tal como a conhecemos. Durante os períodos revolucionários, quando mais uma vez os princípios fundamentais de uma disciplina são questionados, repetem-se as dúvidas sobre a própria possibilidade de progresso contínuo, caso um ou outro dos paradigmas alheios sejam adotados. Os que rejeitavam as teorias de Newton declaravam que sua confiança nas forças inatas faria a ciência voltar à Idade das Trevas. Os que se opunham à química de Lavoisier sustentavam que a rejeição dos “princípios” químicos em favor dos elementos estudados no laboratório equivalia à rejeição das explicações químicas estabelecidas por parte daqueles que se refugiam numa simples nomenclatura. Um sentimento semelhante, ainda que expresso de maneira mais moderada, parece estar na base da oposição de Einstein, Bohr e outros contra a interpretação probabilística dominante na mecânica quântica. Em suma, o progresso parece óbvio e assegurado somente durante aqueles períodos em que predomina a ciência normal. Durante tais períodos, contudo, a comunidade científica está impossibilitada de conceber os frutos de seu trabalho de outra maneira.

Assim, no que diz respeito à ciência normal, parte da resposta para o problema do progresso está no olho do espectador. O progresso científico não difere daquele obtido em outras áreas, mas a ausência, na maior parte dos casos, de escolas competidoras que questionem mutuamente seus objetivos e critérios, torna bem mais fácil perceber o progresso de uma comunidade científica normal. Entretanto, isto é somente parte da resposta e de modo algum a parte mais importante. Por exemplo, já observamos que a comunidade científica, uma vez liberada da necessidade de reexaminar constantemente seus fundamentos em vista da aceitação de um paradigma comum, permite a seus membros concentrarem-se exclusivamente nos fenômenos mais esotéricos e sutis que lhes interessam. Inevitavelmente isso aumenta tanto a competência como a eficácia com as quais o grupo como um todo resolve novos problemas. Outros aspectos da vida profissional científica aumentam ainda mais essa eficácia muito especial.

Alguns desses aspectos são consequência de um isolamento sem paralelo das comunidades científicas amadurecidas frente às exigências dos não-especialistas e da vida cotidiana. Tal isolamento nunca foi completo — estamos discutindo questões de grau. Não obstante, em nenhuma outra comunidade profissional o trabalho criador individual é endereçado a outros membros da profissão (e por eles avaliado) de uma maneira tão exclusiva. O mais esotérico dos poetas e o mais abstrato dos teólogos estão muito mais preocupados do que o cientista com a aprovação de seus trabalhos criadores por parte dos leigos, embora possam estar menos preocupados com a aprovação como tal. Essa diferença gera uma série de consequências. Uma vez que o cientista trabalha apenas para uma audiência de colegas, audiência que partilha de seus valores e crenças, ele pode pressupor um conjunto específico de critérios. O cientista não necessita preocupar-se com o que pensará outro grupo ou escola. Poderá portanto resolver um problema e passar ao seguinte mais rapidamente do que os que trabalham para um grupo mais heterodoxo. Mais importante ainda, a insulação da comunidade científica frente à sociedade permite a cada cientista concentrar sua atenção sobre os problemas que ele se julga competente para resolver. Ao contrário do engenheiro, de muitos médicos e da maioria dos teólogos, o cientista não está obrigado a escolher um problema somente porque este necessita de uma solução urgente. Mais: não está obrigado a escolher um problema sem levar em consideração os instrumentos disponíveis para resolvê-lo. Desse ponto de vista, o contraste entre os cientistas ligados às ciências da natureza e muitos cientistas sociais é instrutivo. Os últimos tendem freqüentemente, e os primeiros quase nunca, a defender sua escolha de um objeto de pesquisa — por exemplo, os efeitos da discriminação racial ou as causas do ciclo econômico — principalmente em termos da importância social de uma solução. Em vista disso, qual dos dois grupos nos permite esperar uma solução mais rápida dos problemas?

Os efeitos do isolamento frente à sociedade global são largamente intensificados por uma outra característica da comunidade científica profissional, a natureza de seu aprendizado. Na música, nas artes gráficas e na literatura, o pro-

fissional adquire sua educação ao ser exposto aos trabalhos de outros artistas, especialmente àqueles de épocas anteriores. Manuais, com exceção dos compêndios ou manuais introdutórios às obras originais, desempenham um papel apenas secundário. Em história, filosofia e nas ciências sociais, a literatura dos manuais adquire uma significação mais importante. Mas, mesmo nessas áreas, os cursos universitários introdutórios utilizam leituras paralelas das fontes originais, algumas sobre os “clássicos” da disciplina, outras relacionadas com os relatórios de pesquisas mais recentes que os profissionais do setor escreveram para seus colegas. Resulta assim que o estudante de cada uma dessas disciplinas é constantemente posto a par da imensa variedade de problemas que os membros de seu futuro grupo tentarão resolver com o correr do tempo. Mais importante ainda, ele tem constantemente frente a si numerosas soluções para tais problemas, conflitantes e incomensuráveis, soluções que em última instância ele terá que avaliar por si mesmo.

Comparemos essa situação com a das ciências naturais contemporâneas. Nessas áreas o estudante fia-se principalmente nos manuais até iniciar sua própria pesquisa, no terceiro ou quarto ano de trabalho graduado. Muitos currículos científicos nem sequer exigem que os alunos de pós-graduação leiam livros que não foram escritos especialmente para estudantes. Os poucos que exigem leituras suplementares de monografias e artigos de pesquisa restringem tais tarefas aos cursos mais avançados, e as leituras que desenvolvem os assuntos tratados nos manuais. Até os últimos estágios da educação de um cientista, os manuais substituem sistematicamente a literatura científica da qual derivam. Dada a confiança em seus paradigmas, que torna essa técnica educacional possível, poucos cientistas gostariam de modificá-la. Por que deveria o estudante de física ler, por exemplo, as obras de Newton, Faraday, Einstein ou Schrödinger, se tudo que ele necessita saber acerca desses trabalhos está recapitulado de uma forma mais breve, mais precisa e mais sistemática em diversos manuais atualizados?

Sem querer defender os excessos a que levou esse tipo de educação em determinadas ocasiões, não se pode deixar de reconhecer que, em geral, ele foi imensamente eficaz.

Trata-se certamente de uma educação rígida e estreita, provavelmente mais do que qualquer outra, com a possível exceção da teologia ortodoxa. Mas para o trabalho científico normal, para a resolução de quebra-cabeças a partir de uma tradição definida pelos manuais, o cientista está equipado de forma quase perfeita. Além disso, está bem equipado para uma outra tarefa – a produção de crises significativas por intermédio da ciência normal. Quando tais crises surgem, o cientista não está, bem entendido, tão bem preparado. Embora as crises prolongadas provavelmente dêem margem a práticas educacionais menos rígidas, o treino científico não é planejado para produzir alguém capaz de descobrir facilmente uma nova abordagem para os problemas existentes. Mas enquanto houver alguém com um novo candidato a paradigma – em geral proposta de um jovem ou de um novato no campo – os inconvenientes da rigidez atingirão somente o indivíduo isolado. Quando se dispõe de uma geração para realizar a modificação, a rigidez individual pode ser compatível com uma comunidade capaz de trocar de paradigma quando a situação o exigir. Mais especificamente, pode ser compatível se essa mesma rigidez for capaz de fornecer à comunidade um indicador sensível de que algo vai mal.

Desse modo, no seu estado normal, a comunidade científica é um instrumento imensamente eficiente para resolver problemas ou quebra-cabeças definidos por seu paradigma. Além do mais, a resolução desses problemas deve levar inevitavelmente ao progresso. Esse ponto não é problemático. Contudo, isso serve apenas para ressaltar o segundo aspecto da questão do progresso nas ciências. Examinemo-lo perguntando pelo progresso alcançado através da ciência extraordinária. Aparentemente o progresso acompanha, na totalidade dos casos, as revoluções científicas. Por quê? Ainda uma vez poderíamos aprender muito perguntando que outro resultado uma revolução poderia ter. As revoluções terminam com a vitória total de um dos dois campos rivais. Alguma vez o grupo vencedor afirmará que o resultado de sua vitória não corresponde a um progresso autêntico? Isso equivaleria a admitir que o grupo vencedor estava errado e seus oponentes certos. Pelo menos para a facção vitoriosa, o re-

sultado de uma revolução deve ser o progresso. Além disso, esta dispõe de uma posição excelente para assegurar que certos membros de sua futura comunidade julguem a história passada desde o mesmo ponto de vista. O capítulo dez descreveu detalhadamente as técnicas que asseguram a consecução desse objetivo. Ainda há pouco examinamos um aspecto da vida científica profissional estreitamente relacionado com esse ponto. Quando a comunidade científica repudia um antigo paradigma, renuncia simultaneamente à maioria dos livros e artigos que o corporificam, deixando de considerá-los como objeto adequado ao escrutínio científico. A educação científica não possui algo equivalente ao museu de arte ou à biblioteca de clássicos. Daí decorre, em alguns casos, uma distorção drástica da percepção que o cientista possui do passado de sua disciplina. Mais do que os estudiosos de outras áreas criadoras, o cientista vê esse passado como algo que se encaminha, em linha reta, para a perspectiva atual da disciplina. Em suma, vê o passado da disciplina como orientado para o progresso. Não terá outra alternativa enquanto permanecer ligado à atividade científica.

Tais considerações sugerirão, inevitavelmente, que o membro de uma comunidade científica amadurecida é, como o personagem típico do livro *1984* de Orwell, a vítima de uma história reescrita pelos poderes constituídos – sugestão aliás não totalmente inadequada. Um balanço das revoluções científicas revela a existência tanto de perdas como de ganhos e os cientistas tendem a ser particularmente cegos para as primeiras³. Por outro lado, nenhuma explicação do progresso gerado por revoluções pode ser interrompida neste ponto. Isso seria subentender que nas ciências o poder cria o direito, formulação que não seria inteiramente equivocada se não suprimisse a natureza do progresso e da autoridade

3. Os historiadores da ciência encontram seguidamente esse gênero de cegueira sob uma forma particularmente surpreendente. Entre os diversos grupos de estudantes, o composto por aqueles dotados de formação científica é o que mais gratifica o professor. Mas é também o mais frustrante no início do trabalho. Já que os estudantes de ciência “sabem quais são as respostas certas”, torna-se particularmente difícil fazê-los analisar uma ciência mais antiga a partir dos pressupostos desta.

por meio dos quais se escolhe entre paradigmas. Se somente a autoridade (e especialmente a autoridade não-profissional) fosse o árbitro dos debates sobre paradigmas, daí ainda poderia resultar uma revolução, mas não uma revolução *científica*. A própria existência da ciência depende da delegação do poder de escolha entre paradigmas e membros de um tipo especial de comunidade. Quão especial essa comunidade precisa ser para que a ciência possa sobreviver e crescer verifica-se pela fragilidade do controle que a humanidade possui sobre o empreendimento científico. Cada uma das civilizações a respeito das quais temos informações possuía uma tecnologia, uma arte, uma religião, um sistema político, leis e assim por diante. Em muitos casos, essas facetas da civilização eram tão desenvolvidas como as nossas. Mas apenas as civilizações que descendem da Grécia helênica possuíam algo mais do que uma ciência rudimentar. A massa dos conhecimentos científicos existentes é um produto europeu gerado nos últimos quatro séculos. Nenhuma outra civilização ou época manteve essas comunidades muito especiais das quais provêm a produtividade científica.

Quais são as características essenciais de tais comunidades? Obviamente, elas requerem muito mais estudo do que o existente. Nesse terreno, somente são possíveis as generalizações exploratórias. Não obstante, diversos requisitos necessários para tornar-se membro de um grupo científico profissional devem estar perfeitamente claros a esta altura. Por exemplo, o cientista precisa estar preocupado com a resolução de problemas relativos ao comportamento da natureza. Além disso, embora essa sua preocupação possa ter uma amplitude global, os problemas nos quais trabalha devem ser problemas de detalhe. Mais importante ainda, as soluções que o satisfazem não podem ser meramente pessoais, mas devem ser aceitas por muitos. Contudo, o grupo que as partilha não pode ser extraído ao acaso da sociedade global. Ele é, ao contrário, a comunidade bem definida formada pelos colegas profissionais do cientista. Uma das leis mais fortes, ainda que não escrita, da vida científica é a proibição de apelar a chefes de Estado ou ao povo em geral quando está em jogo um assunto relativo à ciência. O reconhecimento da existência de um grupo profissional competente e sua aceita-

ção como árbitro exclusivo das realizações profissionais possui outras implicações. Os membros do grupo, enquanto indivíduos e em virtude de seu treino e experiência comuns, devem ser vistos como os únicos conhecedores das regras do jogo ou de algum critério equivalente para julgamentos inequívocos. Duvidar da existência de tais critérios comuns de avaliação seria admitir a existência de padrões incompatíveis entre si para a avaliação das realizações científicas. Tal admissão traria inevitavelmente à baila a questão de se a verdade alcançada pelas ciências pode ser uma.

Essa pequena lista de características comuns às comunidades científicas foi inteiramente retirada da prática da ciência normal, tal como era requerido. O cientista é originalmente treinado para realizar semelhante atividade. Observe-se, entretanto, que a despeito de sua concisão a lista permite distinguir tais comunidades de todos os outros grupos profissionais. Note-se ainda que, a despeito de sua origem na ciência normal, a lista explica muitas das características especiais das respostas da comunidade científica durante revoluções (e especialmente durante debates sobre o paradigma). Já observamos que um grupo dessa natureza deve necessariamente considerar a mudança de paradigma como um progresso. Podemos agora admitir que a maneira de perceber contém em si, em aspectos importantes, sua autoconfirmação. A comunidade científica é um instrumento extremamente eficaz para maximizar o número e a precisão dos problemas resolvidos por intermédio da mudança de paradigma.

Uma vez que o problema da unidade do empreendimento científico está solucionado e visto que o grupo sabe perfeitamente quais os problemas já esclarecidos, poucos cientistas poderão ser facilmente persuadidos a adotar um ponto de vista que reabra muitos problemas já resolvidos. Antes de mais nada é preciso que a natureza solape a segurança profissional, fazendo com que as explicações anteriores pareçam problemáticas. Além disso, mesmo nos casos em que isso ocorre e um novo candidato a paradigma aparece, os cientistas relutarão em adotá-lo a menos que sejam convencidos que duas condições primordiais foram preenchidas. Em primeiro lugar, o novo candidato deve parecer capaz de solu-

cionar algum problema extraordinário, reconhecido como tal pela comunidade e que não possa ser analisado de nenhuma outra maneira. Em segundo, o novo paradigma deve garantir a preservação de uma parte relativamente grande da capacidade objetiva de resolver problemas, conquistada pela ciência com o auxílio dos paradigmas anteriores. A novidade em si mesma não é um desiderato das ciências, tal como em outras áreas da criatividade humana. Como resultado, embora novos paradigmas raramente (ou mesmo nunca) possuam todas as potencialidades de seus predecessores, preservam geralmente, em larga medida, o que as realizações científicas passadas possuem de mais concreto. Além disso, sempre permitem a solução concreta de problemas adicionais.

Não queremos com isso sugerir que a habilidade para resolver problemas constitua a única base ou uma base inequívoca para a escolha de paradigmas. Já apontamos muitas razões que impossibilitam a existência de um critério desse tipo. Contudo, sugerimos que uma comunidade de especialistas científicos fará todo o possível para assegurar o crescimento contínuo dos dados coletados que está em condições de examinar de maneira precisa e detalhada. No decorrer desse processo, a comunidade sofrerá perdas. Com frequência alguns problemas antigos precisarão ser abandonados. Além disso, comumente a revolução diminui o âmbito dos interesses profissionais da comunidade, aumenta seu grau de especialização e atenua sua comunicação com outros grupos, tanto científicos como leigos. Embora certamente a ciência se desenvolva em termos de profundidade, pode não desenvolver-se em termos de amplitude. Quando o faz, essa amplitude manifesta-se principalmente através da proliferação de especialidades científicas e não através do âmbito de uma única especialidade. Todavia, apesar dessas e de outras perdas experimentadas pelas comunidades individuais, a natureza de tais grupos fornece uma garantia virtual de que tanto a relação dos problemas resolvidos pela ciência como a precisão das soluções individuais de problemas aumentarão cada vez mais. Se existe possibilidade de fornecer tal garantia, ela será proporcionada pela natureza da comunidade. Poderia haver melhor critério do que a decisão de um grupo científico?

Os últimos parágrafos indicam em que direções creio se deva buscar uma solução mais refinada para o problema do progresso nas ciências. Talvez indiquem que o progresso científico não é exatamente o que acreditávamos que fosse. Mas, ao mesmo tempo, mostram que algum tipo de progresso inevitavelmente caracterizará o empreendimento científico enquanto tal atividade sobreviver. Nas ciências, não é necessário haver progresso de outra espécie. Para ser mais preciso, talvez tenhamos que abandonar a noção, explícita ou implícita, segundo a qual as mudanças de paradigma levam os cientistas e os que com eles aprendem a uma proximidade sempre maior da verdade.

Já é tempo de indicar que, até as últimas páginas deste ensaio, o termo “verdade” só havia aparecido numa citação de Francis Bacon. Mesmo nesse caso, apareceu tão-somente como uma fonte de convicção do cientista que afirma a impossibilidade da coexistência entre regras incompatíveis para o exercício da ciência — exceto durante as revoluções. Nessas ocasiões, a tarefa principal da profissão consiste em eliminar todos os conjuntos de regras, salvo um único. O processo de desenvolvimento descrito neste ensaio é um processo de evolução *a partir* de um início primitivo — processo cujos estágios sucessivos caracterizam-se por uma compreensão sempre mais refinada e detalhada da natureza. Mas nada do que foi ou será dito transforma-o num processo de evolução *em direção* a algo. Inevitavelmente, tal lacuna terá perturbado muitos leitores. Estamos muito acostumados a ver a ciência como um empreendimento que se aproxima cada vez mais de um objetivo estabelecido de antemão pela natureza.

Mas tal objetivo é necessário? Não poderemos explicar tanto a existência da ciência como seu sucesso a partir da evolução do estado dos conhecimentos da comunidade em um dado momento? Será realmente útil conceber a existência de uma explicação completa, objetiva e verdadeira da natureza, julgando as realizações científicas de acordo com sua capacidade para nos aproximar daquele objetivo último? Se pudermos aprender a substituir a evolução-a-partir-do-que-sabemos pela evolução-em-direção-ao-que-queremos-saber, diversos problemas aflitivos poderão desaparecer nes-

se processo. Por exemplo, o problema da indução deve estar situado em algum ponto desse labirinto.

Ainda não posso especificar detalhadamente as consequências dessa concepção alternativa do progresso científico. A questão se esclarece melhor se reconhecemos que a transposição conceitual aqui recomendada aproxima-se muito daquela empreendida pelo Ocidente há apenas um século. Isto porque, em ambos os casos, o principal obstáculo para a transposição era o mesmo. Em 1859, quando Darwin publicou pela primeira vez sua teoria da evolução pela seleção natural, a maior preocupação de muitos profissionais não era nem a noção de mudança das espécies, nem a possível descendência do homem a partir do macaco. As provas apontando para a evolução do homem haviam sido acumuladas por décadas e a idéia de evolução já fora amplamente disseminada. Embora a evolução, como tal, tenha encontrado resistência, especialmente por parte de muitos grupos religiosos, essa não foi, de forma alguma, a maior das dificuldades encontradas pelos darwinistas. Tal dificuldade brotava de uma idéia muito chegada às do próprio Darwin. Todas as bem conhecidas teorias evolucionistas pré-darwinianas – as de Lamarck, Chambers, Spencer e dos *Naturphilosophen* alemães – consideravam a evolução um processo orientado para um objetivo. A “idéia” de homem, bem como as da flora e fauna contemporâneas, eram pensadas como existentes desde a primeira criação da vida, presentes talvez na mente divina. Essa idéia ou plano fornecera a direção e o impulso para todo o processo de evolução. Cada novo estágio do desenvolvimento da evolução era uma realização mais perfeita de um plano presente desde o início⁴.

Para muitos, a abolição dessa espécie de evolução teleológica foi a mais significativa e a menos aceitável das sugestões de Darwin⁵. *A Origem das Espécies* não reconheceu nenhum objetivo posto de antemão por Deus ou pela na-

tureza. Ao invés disso, a seleção natural, operando em um meio ambiente dado e com os organismos reais disponíveis, era a responsável pelo surgimento gradual, mas regular, de organismos mais elaborados, mais articulados e muito mais especializados. Mesmo órgãos tão maravilhosamente adaptados como a mão e o olho humanos – órgãos cuja estrutura fornecera no passado argumentos poderosos em favor da existência de um artífice supremo e de um plano prévio – eram produtos de um processo que avançava com regularidade desde um início primitivo, sem contudo *dirigir-se a* nenhum objetivo. A crença de que a seleção natural, resultando de simples competição entre organismos que lutam pela sobrevivência, teria produzido o homem juntamente com os animais e plantas superiores era o aspecto mais difícil e mais perturbador da teoria de Darwin. O que poderiam significar “evolução”, “desenvolvimento” e “progresso” na ausência de um objetivo especificado? Para muitas pessoas, tais termos adquiriram subitamente um caráter contraditório.

A analogia que relaciona a evolução dos organismos com a evolução das idéias científicas pode facilmente ser levada longe demais. Mas com referência aos assuntos tratados neste capítulo final ela é quase perfeita. O processo que o capítulo onze descreve como a resolução das revoluções corresponde à seleção pelo conflito da maneira mais adequada de praticar a ciência – seleção realizada no interior da comunidade científica. O resultado final de uma seqüência de tais seleções revolucionárias, separadas por períodos de pesquisa normal, é o conjunto de instrumentos notavelmente ajustados que chamamos de conhecimento científico moderno. Estágios sucessivos desse processo de desenvolvimento são marcados por um aumento de articulação e especialização do saber científico. Todo esse processo pode ter ocorrido, como no caso da evolução biológica, sem o benefício de um objetivo preestabelecido, sem uma verdade científica permanentemente fixada, da qual cada estágio do desenvolvimento científico seria um exemplar mais aprimorado.

Quem quer que tenha seguido a discussão até aqui sentirá, não obstante, a necessidade de perguntar por que o processo evolucionário haveria de ser bem sucedido. Como deve ser a natureza, incluindo-se nela o homem, para que a ciên-

4. Loren Eiseley, *Darwin's Century: Evolution and the Men Who Discovered It*, Nova York, 1958, caps. II, IV-V.

5. Para um relato particularmente penetrante da luta de um eminente darwinista com esse problema, ver A. Hunter Dupree, *Asa Gray, 1810-1888*, Cambridge, Mass., 1959, pp. 295-306, 355-383.

cia seja possível? Por que a comunidade científica haveria de ser capaz de alcançar um consenso estável, inatingível em outros domínios? Por que tal consenso há de resistir a uma mudança de paradigma após outra? E por que uma mudança de paradigma haveria de produzir invariavelmente um instrumento mais perfeito do que aqueles anteriormente conhecidos? Tais questões, com exceção da primeira, já foram respondidas, de um ponto de vista determinado. Mas, vistas de outra perspectiva, estão tão em aberto como no início deste ensaio. Não é apenas a comunidade científica que deve ser algo especial. O mundo do qual essa comunidade faz parte também possui características especiais. Que características devem ser essas? Nesse ponto do ensaio não estamos mais próximos da resposta do que quando o iniciamos. Esse problema — O que deve ser o mundo para que o homem possa conhecê-lo? — não foi, entretanto, criado por este ensaio. Ao contrário, é tão antigo como a própria ciência e permanece sem resposta. Mas não precisamos respondê-lo aqui. Qualquer concepção da natureza compatível com o crescimento da ciência é compatível com a noção evolucionária de ciência desenvolvida neste ensaio. Uma vez que essa noção é igualmente compatível com a observação rigorosa da vida científica, existem fortes argumentos para empregá-la nas tentativas de resolver a multidão de problemas que ainda perduram.

POSFÁCIO — 1969

Este livro foi publicado pela primeira vez há quase sete anos¹. Nesse intervalo, graças às reações dos críticos e ao meu trabalho adicional, passei a compreender melhor numerosas questões que ele coloca. Quanto ao fundamental, meu ponto de vista permanece quase sem modificações, mas agora reconheço aspectos de minha formulação inicial que criaram dificuldades e mal-entendidos gratuitos. Já que sou o responsável por alguns desses mal-entendidos, sua eliminação me possibilita conquistar um terreno que servirá de base para uma nova versão do livro². Nesse meio tempo acolho

1. Este posfácio foi originalmente preparado por sugestão do Dr. Shigeru Nakayama da Universidade de Tóquio, meu antigo aluno e amigo, para ser incluído na tradução japonesa deste livro. Sou grato a ele pela idéia, pela paciência com que esperou sua realização e pela permissão para incluir o resultado na edição em língua inglesa.

2. Não procurei, para esta edição, reescrever sistematicamente o livro. Restringi-me a corrigir alguns erros tipográficos, além de duas passagens que continham erros isoláveis. Um desses erros é a descrição do papel dos *Principia*