

Thomas Samuel Kuhn

A Estrutura das Revoluções Científicas

**Traduzido por Paulo Aukar a partir do texto original publicado em
KUHN, Thomas S. The Structure of Scientific Revolutions. 3 ed.,
Chicago and London: The University of Chicago Press, 1996.**

A Estrutura das Revoluções Científicas

Thomas Samuel Kuhn



18 de Julho de 1922 – 17 de Junho de 1996

Prefácio

O ensaio que se segue é a publicação do primeiro relato completo de um projeto de pesquisa concebido originalmente há quase quinze anos. Naquela época eu era um estudante de pós-graduação em física teórica já quase terminando a minha tese. O envolvimento accidental com um curso universitário experimental que tratava da ciência física para não cientistas ofereceu-me um primeiro contato com a história da ciência. Para minha completa surpresa, aquela exposição a teorias e práticas científicas já obsoletas minaram algumas das minhas concepções básicas sobre a natureza da ciência e sobre as razões do seu especial sucesso.

Tais concepções eu obtivera em parte do meu próprio treinamento científico e em parte de um duradouro interesse pessoal pela filosofia da ciência. Qualquer que tenha sido sua utilidade para a minha educação e a verossimilhança que apresentavam mesmo em uma forma abstrata, de algum modo aquelas noções nem de longe se ajustavam à empresa que o estudo histórico mostrava. Não obstante, essas concepções a que me refiro eram e continuam a ser fundamentais para muitas discussões da ciência. Pareceu-me assim que a crise de credibilidade de tais concepções devesse ser mantida em uma agenda de inquirição. O resultado foi uma mudança drástica nos meus planos de carreira profissional. Uma mudança da física para a história da ciência e, em seguida, gradualmente, um retorno que parte dos problemas mais especificamente históricos para chegar aos interesses mais filosóficos que inicialmente tinham-me conduzido à história. Exceto por alguns poucos artigos, esse ensaio é o primeiro de meus trabalhos publicados em que aqueles interesses iniciais são dominantes. Em certa medida, antes de tudo é uma tentativa de explicar para mim mesmo e para os amigos como aconteceu de eu ser arrancado da ciência e deslocado para a sua história.

Minha primeira oportunidade de investigar em profundidade as ideias apresentadas abaixo foi propiciada por três anos como *Junior Fellow* da *Society of Fellows* da Universidade de Harvard. Sem aquele período de liberdade, a transição para o novo campo de estudo teria sido muito mais difícil e poderia nem mesmo ter-se completado. Parte do meu tempo naqueles anos era devotada especificamente à história da ciência. Continuei estudando particularmente os escritos de Alexandre Koyré, e encontrei pela primeira vez os escritos de Émile Meyerson, Hélène Metzger e

Anneliese Maier.¹ Mais claramente que a maioria dos outros especialistas recentes, esse grupo mostrou como era pensar cientificamente em um período em que os padrões do pensamento científico eram muito diferentes dos atuais. Ainda que eu questione algumas de suas interpretações históricas particulares, o trabalho deles – juntamente com *The Great Chain of Being* de A. O. Lovejoy – só foi menos importante que as fontes primárias na modelagem da minha concepção daquilo que pode ser a história das ideias científicas.

Boa parte do meu tempo naqueles anos, contudo, foi gasta na exploração de campos aparentemente sem relação com a história da ciência, mas cuja pesquisa tem levantado problemas semelhantes àqueles para os quais a história estava chamando a minha atenção. Uma nota de rodapé levou-me acidentalmente aos experimentos com que Jean Piaget esclarecera tanto os vários mundos da criança em desenvolvimento quanto o processo de transição de um daqueles mundos para o seguinte.² Um de meus colegas prescreveu-me a leitura de artigos no campo da psicologia da percepção, particularmente dos psicólogos dos padrões configurativos [*Gestalt*]. Um outro introduziu-me nas especulações de B. L. Whorf sobre os efeitos da linguagem para a visão de mundo. W. V. O. Quine esclareceu-me a questão da distinção analítico-sintético.³ Esse é o tipo de exploração aleatória que a *Society of Fellows* permite, e só através dela eu poderia ter encontrado a monografia quase desconhecida de Ludwik Fleck *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache* (Basel, 1935). Em conjunto com uma observação de outro *Junior Fellow*, Francis X. Sutton, o trabalho de Fleck fez-me compreender que as ideias aqui desenvolvidas requerem sua inclusão na sociologia da comunidade científica. Ainda que no transcorrer do livro os leitores não encontrem muitas referências a esses trabalhos e a essas conversações, minha dívida para com eles se dá de tantas maneiras que agora não consigo avaliar e reconstituir plenamente.

-
- 1 Particularmente influentes foram Alexandre Koyré, *Études Galiléennes* (3 vols.; Paris, 1939); Émile Meyerson, *Identity and Reality*, trad. Kate Loewenberg (New York, 1930); Hélène Metzger, *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e à la fin du XVIII^e siècle* (Paris, 1923), e Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique (Paris, 1930); e Anneliese Maier, *Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert* (“Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik”; Rome, 1949).
 - 2 Por exporem conceitos e processos que também emergem diretamente da história da ciência, dois conjuntos de investigações de Piaget mostraram-se particularmente importantes: *The Child's Conception of Causality*, trad. de Marjorie Gabain (London, 1930), e *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant* (Paris, 1946).
 - 3 Os artigos de Whorf foram desde então reunidos por John B. Carroll em *Language, Thought, and Reality – Selected Writings of Benjamin Lee Whorf* (New York, 1956). Quine apresentou suas opiniões em “Two Dogmas of Empiricism”, reimpresso em seu *From a Logical Point of View* (Cambridge, Mass., 1953), pp. 20-46.

Durante meu último ano como *Junior Fellow*, um convite para fazer conferências no *Lowell Institute* em Boston forneceu-me a primeira oportunidade para testar minha noção de ciência que, naquele momento, ainda se encontrava em desenvolvimento. O resultado foi uma série de oito conferências públicas feitas durante o mês de março de 1951 sobre “A Busca pela Teoria Física”. No ano seguinte, eu comecei a dar aulas especificamente de história da ciência. Por quase uma década os problemas de instruir-me num campo – a própria história da ciência – que eu não tinha estudado sistematicamente deixaram-me pouco tempo para explicitar por escrito as ideias que me tinham transferido para ele. Por sorte, entretanto, tais ideias mostraram-se uma fonte de orientação implícita ou tácita, além de também me oferecerem alguma estrutura para a formulação de problemas durante boa parte do meu ensino avançado. Tenho assim que agradecer meus estudantes pelas lições inestimáveis sobre a viabilidade das minhas concepções e sobre as técnicas apropriadas para tornar sua comunicação mais eficiente. Os mesmos problemas e a mesma orientação dão unidade à maior parte dos estudos predominantemente históricos – e só na aparência diversificados – que eu publiquei desde o final da minha bolsa na *Society of Fellows* de Harvard. Vários deles tratam do papel constitutivo exercido por uma ou outra metafísica na investigação científica criativa. Outros examinam a via pela qual as bases experimentais de uma nova teoria são acumuladas e assimiladas por pessoas comprometidas com uma teoria velha e incompatível com a teoria nova. Em sua sequência, tais trabalhos descrevem o tipo de desenvolvimento que eu chamei abaixo de “emergência” de uma nova teoria científica e de “emergência” de uma descoberta científica – entre outras relações correlatas.

O estágio final no desenvolvimento desse ensaio começou com um convite para passar o ano de 1958-59 no *Center for Advanced Studies in the Behavioral Sciences*. Uma vez mais eu me punha em condições de dedicar total atenção aos problemas discutidos abaixo. O que se mostrou ainda mais importante foi que passar aquele ano em uma comunidade composta predominantemente de cientistas sociais pôs-me diante de problemas – problemas que eu não antevira – sobre as diferenças entre as comunidades dos cientistas sociais e as comunidades dos cientistas naturais, entre os quais eu tinha sido treinado. Fiquei particularmente admirado com a quantidade e a extensão das discordâncias manifestas entre os cientistas sociais a respeito do caráter dos problemas e dos métodos científicos legítimos. Tanto a história quanto o trabalho dos meus contemporâneos

fizeram-me duvidar que os profissionais das ciências naturais pudessem dar respostas mais firmes e permanentes para tais questões que seus colegas das ciências sociais. Não obstante, de algum modo a prática da astronomia, da física, da química ou da biologia normalmente não se mostram capazes de desencadear as controvérsias sobre fundamentos que comumente são endêmicas entre, por exemplo, os psicólogos e sociólogos. O esforço por descobrir a fonte dessa diferença levou-me a reconhecer o papel, na pesquisa científica, daquilo que desde então tenho chamado *paradigmas*. Tomo-os por trabalhos científicos universalmente reconhecidos que – por um certo período de tempo – fornecem os modelos de problemas e de soluções para uma comunidade de profissionais da ciência. Quando essa peça encaixou-se em seu devido lugar, um rascunho desse ensaio emergiu rapidamente.

A história subsequente daquele rascunho não precisa ser recontada aqui, mas umas poucas palavras devem ser ditas sobre a forma que ele preservou em meio às sucessivas revisões. Até que uma primeira versão tivesse sido completada e amplamente revisada, eu tinha adiantado que o texto apareceria exclusivamente como um volume da *Encyclopedia of Unified Science*. Depois que me propuseram esse trabalho pioneiro, os editores souberam manter-me num firme estado de comprometimento, aguardando pelo resultado com uma paciência e um tato extraordinários. Sou-lhes muito grato – particularmente a Charles Morris – pelo encorajamento que se mostraria essencial e pelo aconselhamento a respeito do texto resultante. Limites de espaço na *Encyclopedia*, contudo, fizeram com que eu tivesse que apresentar meus pontos de vista de uma forma extremamente condensada e esquemática. Embora acontecimentos posteriores tivessem relaxado um pouco aquelas restrições – o que permitiu, ao mesmo tempo, a sua publicação independente –, o presente trabalho acabou sendo muito mais um ensaio do que o livro de proporções muito maiores que o meu objeto de investigação ainda certamente demandará.

Já que meu objetivo mais importante é motivar uma mudança na percepção e na avaliação de dados familiares, o caráter esquemático dessa primeira apresentação não precisa ser necessariamente considerado um inconveniente. Pelo contrário, leitores que já foram preparados por suas próprias investigações para o tipo de reorientação aqui defendida podem achar o formato de ensaio bem mais provocativo e fácil de assimilar. Mas ele também tem desvantagens, e essas desvantagens podem justificar que eu já mostre desde o início os tipos de extensão em amplitude e

profundidade que eu ainda espero incluir numa versão mais longa. Há uma quantidade muito maior de evidência histórica disponível do que eu poderia explorar no espaço abaixo. Ademais, essa evidência vem não só da história das ciências físicas, mas também da história das ciências biológicas. Minha decisão de tratar aqui exclusivamente das ciências físicas foi tomada em parte para incrementar a coerência desse ensaio e, em parte, em decorrência da minha capacitação atual. Em acréscimo, a concepção de ciência a ser desenvolvida aqui sugere a fecundidade promissora de muitos novos tipos de pesquisas históricas e sociológicas. Por exemplo, o modo como as anomalias – ou violações de expectativas – atraem crescentemente a atenção de uma comunidade científica requer estudo detalhado. Assim como exige estudo detalhado a irrupção de crises que podem ser induzidas pelo repetido fracasso em fazer uma anomalia conformar-se às expectativas dos cientistas. Ou ainda: se estou certo de que cada revolução científica muda a perspectiva histórica da comunidade que a vivencia, então essa mudança de perspectiva deve alterar a estrutura dos livros didáticos pós-revolucionários e das publicações dos resultados de pesquisa. Um desses efeitos deveria ser estudado como uma possível indicação da ocorrência das revoluções. Refiro-me a uma mudança na distribuição da literatura técnica citada nas notas de rodapé dos relatos de pesquisa.

A drástica necessidade de condensação também me forçou a antecipar a discussão de um certo número de problemas relevantes. Minha distinção entre períodos pré-paradigma e períodos pós-paradigma no desenvolvimento de uma ciência está, por exemplo, demasiado esquemática. Cada uma das escolas cuja competição caracteriza o período pré-paradigma é guiada por algo muito semelhante a um paradigma. Ainda que as considere raras, penso que também haja circunstâncias em que dois paradigmas podem coexistir pacificamente no período pós-paradigma. A mera posse de um paradigma não é propriamente um critério suficiente para o desenvolvimento da transição discutida na Seção II. E o que é mais importante: exceto em breves notas marginais, eu não disse nada sobre o papel do avanço tecnológico ou de condições externas de caráter social, econômico e intelectual no desenvolvimento das ciências. Não precisamos, contudo, mais do que examinar a relação de Copérnico com o calendário para descobrir que as condições externas podem ajudar a transformar uma simples anomalia em uma fonte de crise aguda. O mesmo exemplo poderia ilustrar o leque de alternativas disponíveis para a pessoa que procurasse dar fim a uma

crise propondo uma ou outra reforma revolucionária.⁴ A consideração explícita de efeitos como esses, penso eu, não modificaria as teses desenvolvidas nesse ensaio, mas acrescentaria com certeza uma dimensão analítica com importância de primeira ordem para a compreensão do avanço científico.

Finalmente – e talvez o mais importante de tudo –, as limitações de espaço afetaram drasticamente meu tratamento das implicações filosóficas da concepção de ciência historicamente orientada desse ensaio. É claro que há essas implicações filosóficas, e eu tentei apontar e documentar as principais. Ao fazer isso, contudo, evitei em geral a discussão detalhada das várias posições tomadas pelos filósofos contemporâneos nas controvérsias correspondentes. Onde eu mostrei ceticismo, ele foi mais dirigido a uma atitude filosófica do que a qualquer uma de suas expressões elaboradas de modo mais completo. Como resultado, alguns daqueles que trabalham dentro de uma dessas posições mais articuladas podem ter a sensação de que não os compreendi. Acho que estarão errados quanto a isso, mas esse ensaio não foi calculado para convencê-los. Uma tentativa dessa ordem teria requerido um livro muito mais longo e de um tipo muito diferente.

Os fragmentos autobiográficos que abrem esse prefácio servirão para deixar mais visível meu reconhecimento da parte mais importante da dívida que tenho para com meus trabalhos universitários e para com as instituições que me ajudaram a dar forma ao meu pensamento. O restante dessa dívida tentarei mostrar através das várias citações feitas nas páginas que se seguem. Tudo que foi dito acima ou que será dito abaixo, contudo, permitirá que apenas se entreveja o número e a natureza das minhas obrigações pessoais para com todos aqueles indivíduos cujas sugestões e críticas sustentaram e dirigiram o meu desenvolvimento intelectual em um ou outro momento. Demasiado tempo transcorreu desde que as ideias expostas nesse ensaio começaram a tomar forma. Uma lista de todos aqueles que certamente poderiam encontrar sinais de sua influência nessas páginas seria quase coextensiva com a lista de meus amigos e conhecidos. Dadas as circunstâncias, devo restringir-me a algumas

4 Esses fatores são discutidos em T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Cambridge, Mass., 1957), pp. 122-32, 270-71. Outros efeitos das condições externas intelectuais e econômicas sobre o desenvolvimento científico concreto estão ilustrados em meus artigos “Conservation of Energy as an Example of Simultaneous Discovery”, *Critical Problems in the History of Science*, ed. Marshall Clagett (Madison, Wis., 1959), pp. 321-56; “Engineering Precedent for the Work of Sadi Carnot”, *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, XIII (1960), 247-51; e “Sadi Carnot and the Cagnard Engine”, *Isis*, LII (1961), 567-74. Portanto, é apenas em relação aos problemas discutidos nesse ensaio que ponho os fatores externos num plano secundário.

poucas influências significativas que mesmo uma memória insatisfatória jamais vai suprimir inteiramente.

Foi James B. Conant – então reitor da Universidade de Harvard – quem primeiro me introduziu na história da ciência, e assim iniciou a transformação da minha concepção da natureza do desenvolvimento científico. Desde que tal processo começou, ele foi generoso com suas ideias, críticas e disponibilidade de tempo – incluindo o tempo requerido para ler e fazer importantes sugestões de mudança no meu rascunho datilografado. Leonard K. Nash – junto com quem ensinei durante cinco anos no curso de viés histórico que o Dr. Conant iniciara – foi um colaborador ainda mais ativo durante os anos em que minhas ideias começaram a tomar forma, e senti muito sua falta no estágio final do desenvolvimento delas. Por sorte, entretanto, depois que saí de Cambridge o lugar de Nash como um interlocutor criativo foi assumido por meu colega de Berkeley Stanley Cavell. Que Cavell – um filósofo particularmente interessado em ética e estética – tenha chegado a conclusões tão congruentes com as minhas próprias, foi uma fonte de estímulo e encorajamento para mim. Ademais, ele é a única pessoa com quem eu fui algum dia capaz de explorar minhas ideias em sentenças incompletas. Esse modo de comunicação atesta a capacidade de compreensão que lhe possibilitou apontar-me o caminho para romper ou contornar muitas das importantes barreiras encontradas enquanto eu preparava a primeira versão do meu texto.

Desde que aquela versão foi esboçada, muitos outros amigos ajudaram-me na sua reformulação. Penso que eles me perdoarão se eu mencionar apenas quatro deles, cujas contribuições provaram ser as mais influentes e decisivas: Paul K. Feyerabend de Berkeley, Ernest Nagel de Columbia, H. Pierre Noyes do Laboratório de Radioatividade Lawrence e meu orientando John L. Heilbron, que com frequência trabalhou comigo na preparação de uma versão final para impressão. Achei todas as suas objeções e sugestões de grande ajuda, mas não tenho qualquer razão para acreditar – e tenho algumas razões para duvidar – que qualquer um deles, ou qualquer um dos outros mencionados acima, aprova no todo o texto resultante.

Meus agradecimentos finais – para meus pais, esposa e filhos – devem ser de um tipo um pouco diferente. De maneiras que possivelmente serei o último a tomar conhecimento, cada um deles também contribuiu com ingredientes intelectuais para o meu trabalho. Mas em graus variados eles fizeram uma coisa ainda mais importante. Eles permitiram que meu trabalho fluísse e até mesmo encorajaram minha devoção a ele. Qualquer um engalfinhado num

projeto como o meu vai reconhecer qual o seu custo eventual.
Simplesmente não sei como dizer-lhes obrigado.

T. S. K.

Berkeley, Califórnia
Fevereiro de 1962.

I. Introdução: Um Papel para a História

Se a história não fosse vista como um simples depósito de anedotas e cronologias, poderia produzir uma transformação decisiva na imagem da ciência que se apoderou de nós. Tal imagem da ciência foi extraída – até mesmo pelos próprios cientistas – principalmente do estudo de trabalhos científicos acabados tal como eles se encontram expostos nas obras consideradas clássicas ou, mais recentemente, nos livros didáticos em que cada uma das novas gerações de cientistas aprende o seu ofício. Inevitavelmente, contudo, o objetivo desses livros tem muito mais um caráter pedagógico e de persuasão. Um conceito de ciência tirado deles ajusta-se tanto ao processo de produção de que resultam os componentes com que são constituídos quanto a imagem de uma cultura nacional tirada de um folheto turístico ou de um texto escrito de acordo com a norma oficial da língua. Esse ensaio tenta mostrar que tais livros nos enganaram em sentidos fundamentais. Seu objetivo é um esboço do conceito muito diferente de ciência que pode emergir do registro histórico da própria atividade de pesquisa.

Mas um novo conceito de ciência não vai emergir nem mesmo da história, se os dados históricos continuarem a ser procurados e examinados principalmente para responder questões postas pelo estereótipo a-histórico tirado dos textos científicos. Em geral parece estar implicado nesses textos que o conteúdo da ciência é exemplificado exclusivamente pelas observações, leis e teorias descritas em suas páginas. Quase com igual regularidade, os mesmos livros têm sido lidos como se dissessem que os métodos científicos são exclusivamente aqueles ilustrados pelas técnicas de manipulação utilizadas na coleta dos dados presentes em suas páginas, juntamente com as operações lógicas empregadas quando se relaciona aqueles dados com as generalizações teóricas que também estão presentes ali. O resultado tem sido um conceito de ciência com profundas implicações sobre a natureza e o desenvolvimento da ciência.

Se ciência é a constelação de fatos, teorias e métodos reunidos nos livros didáticos ora em uso, então os cientistas são as pessoas que, com sucesso ou não, se esforçaram por contribuir com um ou outro elemento dessa constelação particular. O desenvolvimento científico torna-se um processo em que tais elementos foram adicionados peça por peça – isoladamente ou em combinação – ao estoque sempre crescente da técnica e do conhecimento científicos. A

história da ciência, por sua vez, torna-se a disciplina que faz a crônica dos sucessivos incrementos e dos obstáculos que inibiram sua acumulação. Desse modo, o historiador interessado no desenvolvimento científico parece ter duas tarefas mais importantes. Por um lado ele deve determinar que pessoa – e em que data – descobriu ou inventou cada fato, lei e teoria científicos contemporâneos. Por outro lado, ele também deve descrever e explicar os cipoais de erro, mito e superstição que inibiram uma acumulação mais rápida dos componentes do moderno texto científico. Muita pesquisa já foi dirigida para esses fins e alguma ainda é.

Em anos recentes, contudo, alguns historiadores da ciência têm achado cada vez mais difícil preencher as funções que o conceito de desenvolvimento por acumulação atribui a eles. Enquanto cronistas de um processo que se desenvolve por adição, eles descobrem que cada nova investigação que fazem torna mais difícil – e não mais fácil – responder questões como as seguintes. Quando o oxigênio foi descoberto? Quem foi o primeiro a conceber a conservação da energia? Crescentemente, alguns desses historiadores da ciência suspeitam que essas questões são simplesmente o tipo errado de questão a ser formulada. Talvez a ciência não se desenvolva pela acumulação de descobertas e invenções individuais. Ao mesmo tempo, esses mesmos historiadores defrontam-se com dificuldades cada vez maiores para distinguir o componente científico presente nas observações e ideias consideradas verdadeiras no passado, daquilo que seus predecessores na história da ciência prontamente teriam rotulado como erro e superstição. Quanto mais cuidadosamente eles estudam, digamos, a dinâmica aristotélica, a química flogística ou a termodinâmica calorífica, mais certos se sentem de que – em seu todo – aquelas concepções da natureza que já foram aceitas algum dia no passado não são menos científicas nem mais o produto das peculiaridades humanas individuais e sociais que as concepções da natureza aceitas atualmente. Se essas crenças obsoletas devem ser denominadas mito, então os mitos podem ser produzidos pelos mesmos tipos de métodos e mantidos pelos mesmos tipos de razões que guiam no presente o conhecimento científico. Se, por outro lado, essas crenças obsoletas devem ser denominadas ciência, então a ciência já incluiu sistemas de crenças inteiramente incompatíveis com os sistemas de crenças que nós sustentamos hoje. Dadas essas alternativas, o historiador deve escolher a última. Teorias obsoletas não deixam em princípio de ser científicas por terem sido descartadas. Essa escolha, todavia, torna muito difícil ver o

desenvolvimento da ciência como um processo aditivo. A mesma pesquisa histórica que apresenta dificuldades em isolar descobertas e invenções individuais cria o terreno para dúvidas profundas sobre o processo cumulativo que teria sido constituído por meio dessas contribuições individuais à ciência.

O resultado de todas essas dúvidas e dificuldades é uma revolução historiográfica no estudo da ciência, ainda que seja uma revolução que esteja em seus estágios iniciais. Com frequência – e em geral sem dar-se conta inteiramente de que estão fazendo isso – os historiadores da ciência começaram a fazer novos tipos de perguntas e a traçar linhas de desenvolvimento diferentes para as ciências. Linhas que não chegam a ter um caráter cumulativo. Em vez de procurar pelas contribuições de uma ciência mais antiga para o benefício da ciência contemporânea, eles tentam mostrar o modo como aquela ciência mais antiga se integra em sua própria época. Eles não perguntam, por exemplo, sobre as relações das concepções de Galileu com as concepções da ciência atual, mas pelas relações das concepções de Galileu com as concepções científicas do seu grupo. Isto é, seus professores, seus contemporâneos e seus sucessores imediatos. Ademais, esses historiadores da ciência insistem no estudo das opiniões daquele grupo e outros similares de um ponto de vista – muito diferente do ponto de vista da ciência atual – que dá àquelas opiniões o máximo de coerência interna e o mais preciso ajuste possível à natureza. A ciência vista através dos trabalhos resultantes – trabalhos talvez melhor exemplificados pelos escritos de Alexandre Koyré – já não se parece de modo algum com o mesmo empreendimento discutido pelos escritores da tradição historiográfica mais antiga. Esses estudos históricos sugerem – pelo menos por implicação – uma nova imagem da ciência. O presente ensaio tem o objetivo de delinear essa nova imagem da ciência ao tornar explícitas algumas das implicações dessa nova historiografia.

Que aspectos da ciência vão se destacar no curso desse esforço? Primeiro – pelo menos na ordem de apresentação – está a insuficiência das diretrizes metodológicas, por si mesmas, para ditarem uma resposta única – ou uma conclusão concreta única – para muitos tipos de questões científicas. Alguém instruído a examinar fenômenos elétricos ou químicos, sendo ignorante desses campos mas conhecendo determinadas diretrizes metodológicas – ou seja, sabendo o que é ser científico –, pode chegar a qualquer uma de um leque de conclusões incompatíveis. Entre as possibilidades legítimas, as conclusões específicas a que ele pode chegar são provavelmente determinadas pela sua experiência anterior em outros

campos, pelos acidentes de sua investigação e pela sua própria personalidade. Que crenças sobre as estrelas, por exemplo, ele traz para o estudo da química ou da eletricidade? Quais dos muitos experimentos concebíveis – que são relevantes para o novo campo – ele realiza em primeiro lugar? E quais aspectos do fenômeno que resulta desse experimento mais o impressionam como sendo de particular relevância para a elucidação da natureza da transformação química ou da afinidade elétrica? Pelo menos para o indivíduo – mas às vezes também para a comunidade científica – respostas para questões como essas são muitas vezes determinantes essenciais do desenvolvimento científico. Notaremos a seguir – por exemplo na Seção II – que o desenvolvimento inicial da maioria das ciências caracterizou-se pela competição contínua entre várias concepções distintas da natureza, cada uma delas derivada parcialmente dos ditames da observação e do método científicos, e mais ou menos compatível com eles. O que diferenciou essas várias escolas não foi uma ou outra carência de método – elas eram todas científicas –, mas aquilo que denominaremos suas maneiras incomensuráveis de imaginar o mundo e de praticar a ciência dentro dele. A observação e a experiência podem e devem reduzir drasticamente os limites em que a crença científica é admissível. Do contrário, não teríamos ciência. Mas a observação e a experiência sozinhas não podem determinar uma configuração particular de tal crença. Um elemento aparentemente arbitrário – composto de casualidade pessoal e histórica – é sempre um ingrediente formativo das crenças esposadas por uma comunidade científica durante um tempo dado.

Contudo, esse elemento de arbitrariedade não sugere que algum grupo científico pudesse praticar seu ofício sem um conjunto presumido de crenças. Ele também não diminui a importância da constelação particular de crenças com que o grupo está comprometido num dado momento. A pesquisa efetiva dificilmente começa antes que a comunidade científica pense ter obtido respostas firmes para questões como as seguintes. Quais são as entidades fundamentais de que o universo é composto? Como elas interagem umas com as outras e com os sentidos? Que questões podem ser legitimamente feitas sobre tais entidades e que técnicas podem ser empregadas na busca das soluções? Pelo menos nas ciências maduras, as respostas – ou algo que substitua plenamente as respostas – para questões como essas estão firmemente embutidas na iniciação educacional que prepara e licencia o estudante para a prática profissional. Uma vez que essa educação é rígida e rigorosa, tais respostas chegam a produzir uma moldagem profunda do intelecto

científico. Que elas possam fazer isso ajuda muito na explicação da peculiar eficiência da atividade da ciência normal, e também na explicação da direção em que a ciência normal avança durante qualquer período considerado. Quando examinarmos a ciência normal nas Seções III, IV e V, pretendemos finalmente descrevê-la como uma tentativa laboriosa e devotada de forçar a natureza para dentro das caixas conceituais proporcionadas pela educação profissional. Ao mesmo tempo, vamos indagar se a pesquisa poderia avançar sem tais caixas – qualquer que seja o elemento de arbitrariedade presente em sua origem histórica e, eventualmente, também em seu desenvolvimento subsequente.

Com efeito, o elemento de arbitrariedade está presente e também tem um importante efeito no desenvolvimento científico. Examinaremos esse efeito nas Seções VI, VII e VIII. A ciência normal – a atividade em que os cientistas inevitavelmente concentram quase todo o seu tempo – está implicada na suposição de que a comunidade científica sabe como o mundo é. Boa parte do sucesso do empreendimento científico deriva da prontidão com que a comunidade científica defende tal suposição, a um custo considerável quando necessário. A ciência normal, por exemplo, geralmente suprime as novidades sobre os fundamentos porque elas necessariamente subvertem as devoções científicas básicas. Não obstante, na medida em que essas devoções científicas retêm um elemento de arbitrariedade, a própria natureza da ciência normal assegura que a novidade não poderá ser suprimida por muito tempo. Às vezes um problema normal – um problema que deveria ser resolvido com as regras e procedimentos conhecidos – resiste aos repetidos assaltos dos mais hábeis membros do grupo dentro de cuja competência ele aparece. Em outras ocasiões, algum equipamento projetado e construído para um propósito de ciência normal não funciona da maneira prevista, revelando uma anomalia que não pode, apesar de esforço repetido, ser ajustada às expectativas profissionais. Dessas e de muitas outras maneiras a ciência normal sai repetidamente da trilha conhecida. E quando isso ocorre – isto é, quando a profissão já não pode se esquivar das anomalias que subvertem a tradição existente de prática científica –, começam as investigações extraordinárias que conduzem a profissão a um novo conjunto de devoções ou para uma nova base para a prática científica. Os episódios extraordinários por meio dos quais ocorre a transformação dos comprometimentos profissionais são aqueles reconhecidos nesse ensaio como revoluções científicas. Trata-se de

complementos da atividade da ciência delimitada por uma tradição – ou ciência normal – que estilhaçam essa mesma tradição.

Os mais óbvios exemplos de revoluções científicas são aqueles famosos episódios do desenvolvimento científico que em geral já foram antes rotulados como revoluções. Assim, nas Seções IX e X – onde predominante e diretamente será esmiuçada a natureza das revoluções científicas – lidaremos reiteradamente com esses grandes pontos de inflexão no desenvolvimento científico associados com os nomes de Copérnico, Newton, Lavoisier e Einstein. Eles mostram mais claramente que a maioria dos outros episódios – pelo menos na história das ciências físicas – a que as revoluções científicas se referem. Cada uma delas implicou a rejeição pela comunidade científica de uma teoria já sancionada pelo tempo em favor de uma outra teoria, incompatível com a primeira. Todas essas revoluções produziram uma consequente mudança nos problemas disponíveis à investigação científica e também uma mudança nos padrões usados pela profissão para determinar o que deveria ser considerado um problema admissível e o que deveria ser considerado uma solução legítima de um problema. E cada uma transformou a imaginação científica em sentidos que, em última instância, precisamos descrever como uma transformação do mundo no interior do qual é feito o trabalho científico. Tais mudanças – juntamente com as controvérsias que quase sempre as acompanham – são as características definidoras das revoluções científicas.

Essas características emergem com particular clareza de um estudo, por exemplo, das revoluções newtoniana e química. Todavia, é uma tese fundamental do presente ensaio que elas também podem ser identificadas no estudo de muitos outros episódios que não foram tão obviamente revolucionários. As equações de Maxwell foram tão revolucionárias quanto as de Einstein para o grupo profissional bem menor afetado por elas. Por consequência, elas sofreram a mesma resistência. A invenção de novas teorias regular e apropriadamente produz a mesma resposta por parte de alguns dos especialistas em cuja área de competência especializada ela incide. Para essas pessoas, a nova teoria implica uma mudança nas regras que governam a prática de ciência normal que vigorou até então. Portanto, inevitavelmente ela repercutirá sobre boa parte do trabalho científico já realizado com sucesso. Eis porque uma nova teoria – por mais especial que seja seu âmbito de aplicação – raramente ou nunca é só um incremento ao que já é sabido. Sua assimilação requer a reconstrução da teoria antecessora e também uma reavaliação do fato antecessor num processo que raramente é efetivado por uma só

pessoa, e nunca é completado de um dia para o outro. Não é de admirar que os historiadores tenham tido dificuldade em datar com precisão esses processos extensos. O vocabulário desses historiadores da ciência compelia-os a vê-los como eventos isolados.

E não são só as invenções de novas teorias os únicos eventos científicos que têm impacto revolucionário sobre os especialistas em cujo domínio elas ocorrem. As sujeições que governam a ciência normal especificam não apenas os tipos de entidades que o universo contém, mas também, por implicação, as entidades que o universo não contém. Embora o ponto vá exigir uma discussão extensa, disso se segue que uma descoberta como a do oxigênio ou como a dos raios-X não adiciona simplesmente mais um item à população do mundo dos cientistas. Em última instância ela tem esse efeito, mas não antes que os cientistas tenham reavaliado seus procedimentos experimentais tradicionais, alterado sua concepção das entidades com que estão familiarizados há muito tempo e, no processo, mudado a rede teórica através da qual eles lidam com o mundo. Fato e teoria científicos não são categoricamente separáveis, exceto talvez dentro de uma tradição específica de prática científica normal. Eis porque uma descoberta inesperada não é simplesmente fatual em suas implicações. Eis também porque o mundo dos cientistas é qualitativamente transformado e quantitativamente enriquecido pelas novidades fatuais e teóricas fundamentais.

Essa concepção ampliada da natureza das revoluções científicas é aquela que será delineada nas páginas que se seguem. Reconheço que a ampliação pretendida altera o uso costumeiro. Não obstante, continuarei a falar inclusive das descobertas científicas como revolucionárias porque é precisamente essa possibilidade de relacionar suas estruturas com a estrutura, digamos, da revolução copernicana, que torna essa concepção ampliada da revolução científica parecer tão importante para mim. A argumentação precedente aponta como as noções complementares de ciência normal e revoluções científicas serão desenvolvidas nas nove seções que se seguem imediatamente. O resto do ensaio tenta desincumbir-se de três questões centrais remanescentes. Ao discutir a tradição do livro didático, a Seção XI considera por que anteriormente as revoluções científicas eram tão difíceis de ver. A Seção XII descreve a competição revolucionária entre os proponentes de uma velha tradição de ciência normal e os adeptos de uma nova. Ao fazer isso, ela considera o processo que, em uma teoria da investigação científica, deveria de algum modo substituir os procedimentos de verificação e de falsificação tornados tão familiares pela nossa imagem

habitual da ciência. A competição entre segmentos da comunidade científica é o único processo histórico que já resultou na rejeição de uma teoria previamente aceita e na adoção de uma outra. Finalmente, a Seção XIII vai indagar como o desenvolvimento por meio de revoluções pode ser compatível com o caráter aparentemente sem paralelos do progresso científico. Para essa questão, contudo, o presente ensaio não vai oferecer mais que as linhas gerais de uma resposta. Uma resposta que depende das características da comunidade científica. Ou seja, que depende de algo que ainda requer muita exploração e estudo adicionais.

Sem dúvida, alguns leitores já se devem ter perguntado se o estudo histórico poderia efetivar o tipo de transformação conceitual objetivada aqui. Um arsenal inteiro de dicotomias está disponível para sugerir que ele não poderia fazer isso. Dizemos com frequência que a história é uma disciplina puramente descritiva. Contudo, as teses sugeridas acima são geralmente interpretativas e, às vezes, normativas. Reitero que muitas das minhas generalizações dizem respeito à sociologia ou à psicologia social dos cientistas. Apesar disso, pelo menos algumas das minhas conclusões pertencem tradicionalmente à lógica ou à epistemologia. No parágrafo precedente pode até mesmo parecer que eu violei a muito influente distinção contemporânea entre o contexto de descoberta e o contexto de justificação. Pode algo mais que profunda confusão ser indicado por esse amálgama de diferentes campos e interesses?

Sendo obrigado a desmamar intelectualmente dessas distinções e de outras similares, eu não poderia estar mais consciente das suas implicações e de sua força. Por muitos anos acreditei que elas estivessem implicadas na própria natureza do conhecimento. Continuo a supor que, se forem adequadamente remodeladas, elas ainda têm algo importante a nos dizer. Não obstante, minhas tentativas de aplicá-las – mesmo *grosso modo* – às situações efetivas em que o conhecimento é obtido, aceito e assimilado fizeram-nas parecer extraordinariamente problemáticas. Em vez de ser distinções lógicas e metodológicas elementares – que seriam portanto supostos da análise do conhecimento científico – elas parecem agora ser partes integrantes de um conjunto tradicional de respostas concretas para as próprias questões que estiveram na base do seu desenvolvimento. Essa circularidade não as invalida de todo, mas transforma essas distinções em partes de uma teoria e, assim fazendo, sujeita-as ao mesmo exame regularmente aplicado a teorias em outros campos. Se elas devem ter por conteúdo algo mais que pura abstração, então esse conteúdo deve ser descoberto quando as observamos sendo

aplicadas aos dados que supostamente devem elucidar. Como poderia a história da ciência falhar como produtora de fenômenos para a aplicação de teorias sobre o conhecimento que podem ser legitimamente requisitadas para isso?

II. O Caminho para a Ciência Normal

Nesse ensaio ciência normal significa pesquisa firmemente baseada em um ou mais trabalhos científicos passados. Trata-se de trabalhos científicos selecionados por alguma comunidade científica particular para constituírem o alicerce da sua prática corrente, pelo menos durante um certo período de tempo. Hoje em dia tais trabalhos são recontados pelos livros didáticos científicos elementares e avançados, ainda que raramente em sua forma original. Esses manuais expõem o corpo da teoria aceita, ilustram a teoria com várias de suas aplicações bem sucedidas e comparam essas aplicações com observações e experimentos exemplares. Antes que os livros didáticos se tornassem populares a partir do início do século XIX – e ainda mais recentemente nas ciências que se tornaram maduras há pouco – muitos dos famosos clássicos da ciência preencheram uma função similar. Juntamente com muitas outras obras, *A Física* de Aristóteles, o *Almagesto* de Ptolomeu, os *Principia* e a *Ótica* de Newton, a *Eletricidade* de Franklin, a *Química* de Lavoisier e a *Geologia* de Lyell serviram durante um certo tempo para definir e legitimar *implicitamente* os problemas e métodos de um campo de pesquisa para sucessivas gerações de cientistas. Tais livros tornaram-se aptos a isso porque compartilhavam duas características essenciais. Os trabalhos científicos que esses livros expunham eram suficientemente sem precedentes para atrair um grupo estável de aderentes, e também para livrar esse grupo de um contexto de concorrência entre diferentes modos de fazer ciência. Ao mesmo tempo, esse trabalhos eram suficientemente incompletos para deixar em aberto toda sorte de problemas para o grupo de cientistas – agora reestruturado – resolver.

Devo referir-me daqui por diante aos trabalhos científicos que compartilham essas duas características como paradigmas, um termo que se relaciona intimamente a ciência normal. Ao escolher o termo paradigma quero sugerir que alguns exemplos acatados pela prática científica efetiva – exemplos que incluem lei, teoria, aplicação e instrumentação juntos – fornecem os modelos a partir dos quais se desenvolvem certas tradições coerentes da investigação científica. Falo de tradições que os historiadores descrevem sob rubricas como astronomia ptolomaica (ou copernicana), dinâmica aristotélica (ou newtoniana), ótica corpuscular (ou ótica ondulatória), e assim por diante. É principalmente o estudo dos paradigmas – incluindo vários que são muito mais especializados que aqueles que nomeei

ilustrativamente acima – que prepara o estudante para fazer parte da comunidade científica particular em que ele vai desenvolver mais tarde a sua prática da ciência. Como esse estudante vai se juntar a profissionais que aprenderam as bases do seu campo a partir dos mesmos modelos concretos que ele, sua prática subsequente raramente vai produzir algum desacordo aberto acerca daquelas bases. Pessoas que foram treinadas para fazer pesquisa com base nos mesmos paradigmas estão subordinadas às mesmas regras e padrões para a prática científica. Essa sujeição e o aparente consenso que ela produz são pré-requisitos para a ciência normal. Isto é, são pré-requisitos para a gênese e para a continuidade de uma tradição particular de pesquisa.

Uma vez que nesse ensaio o conceito de paradigma vai geralmente substituir uma série de noções familiares, um pouco mais deve ser dito sobre as razões para a sua introdução. Por que o trabalho científico concreto – entendido como o delimitador dos compromissos profissionais – é anterior aos vários conceitos, leis, teorias e pontos de vista que podem ser abstraídos dele? Em que sentido o paradigma compartilhado é a unidade fundamental para o estudioso do desenvolvimento científico; uma unidade que não pode ser satisfatoriamente reduzida aos componentes logicamente atômicos que poderiam alegadamente substituí-lo em sua função? Respostas para essas questões e para outras similares mostrar-se-ão básicas para uma compreensão da ciência normal e do conceito de paradigmas que lhe é associado, quando nos depararmos com elas na Seção V. A discussão mais abstrata daquela Seção vai depender, contudo, de nos familiarizarmos previamente com exemplos de ciência normal e de paradigmas em operação. Esses dois conceitos relacionados ficarão mais claros particularmente quando notarmos que pode haver um tipo de pesquisa científica sem paradigmas. Ou pelo menos sem paradigmas tão inequívocos e coercitivos como aqueles que nomeamos acima. A incorporação de um paradigma – e o tipo mais esotérico de investigação que ele permite – é um sinal de maturidade no desenvolvimento de qualquer campo científico.

Se o historiador busca no passado a reconstituição do conhecimento científico de um grupo qualquer de fenômenos relacionados, é provável que ele encontre alguma variedade aproximada do padrão da história da ótica física ilustrado aqui. Atualmente os manuais de física dizem ao estudante que a luz são fótons, isto é, entidades quântico-mecânicas que exibem algumas características de ondas e algumas características de partículas. A pesquisa se desenvolve de acordo com isso. Ou melhor, desenvolve-se

de acordo com uma caracterização mais elaborada – e matemática – da qual é derivada a verbalização mais comum. Essa caracterização da luz, contudo, mal tem meio século. Antes que ela fosse desenvolvida no início do presente século por Planck, Einstein e outros, os textos de física ensinavam que a luz era um movimento de onda transversal – uma concepção enraizada em um paradigma que derivou em última instância dos escritos sobre ótica de Young e Fresnel, no começo do século XIX. A teoria ondulatória também não foi a primeira a ser adotada por quase todos os praticantes da ciência ótica. Durante o século dezoito o paradigma para esse campo era fornecido pela *Ótica* de Newton, que ensinava que a luz era constituída de corpúsculos materiais. Naquele tempo os físicos buscavam evidência da pressão exercida pelas partículas de luz ao colidir com os corpos sólidos. Algo que os primeiros utilizadores da teoria ondulatória não fizeram.⁵

Essas transformações dos paradigmas da física ótica são revoluções científicas, e as sucessivas transições de um paradigma para outro pela via da revolução são o padrão típico de desenvolvimento da ciência madura. Entretanto, tal não é o padrão característico do período anterior ao trabalho de Newton. Esse é o contraste que nos interessa aqui. Nenhum período entre a antiguidade remota e o final do século dezessete mostrou alguma concepção sobre a natureza da luz que fosse aceita generalizadamente. Ao invés disso, havia um certo número de escolas e subescolas concorrentes, a maioria delas adotando uma ou outra variedade de teoria epicurista, aristotélica e platônica. Um grupo considerava que a luz fosse constituída de partículas que emanam dos corpos materiais. Para outro, a luz era uma modificação do meio que intervinha entre um corpo e o olho. Um outro grupo ainda explicava a luz em termos de uma interação do meio com uma emanção do olho. E ainda havia outras combinações e modificações daquelas várias concepções da luz. Cada uma das escolas correspondentes reforçava-se com base na sua relação com alguma metafísica particular. Cada uma enfatizava o agregado de fenômenos óticos que a sua própria teoria mostrava maior capacidade para explicar, dando-lhe o caráter de observações paradigmáticas. Outras observações eram ajustadas à teoria com alguma elaboração *ad hoc*, ou então permaneciam como problemas pendentes para uma investigação futura.⁶

5 Joseph Priestley, *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light, and Colours* (London, 1772), pp. 385-90.

6 Vasco Ronchi, *Histoire de la Lumière*, trad. Jean Taton (Paris, 1956), caps. i-iv.

Em diversas ocasiões todas aquelas escolas fizeram contribuições significativas para o corpo de conceitos, fenômenos e técnicas do qual Newton extraiu o primeiro paradigma da física ótica quase uniformemente aceito. Qualquer definição de cientista que não inclua pelo menos os membros mais criativos daquelas várias escolas vai excluir também seus sucessores modernos. Aquelas pessoas eram cientistas. Todavia, quem quer que examine o panorama da ótica física antes de Newton pode muito bem concluir que embora os praticantes daquele campo fossem cientistas, o resultado líquido da sua atividade era algo menos que ciência. Não podendo dar por garantido um corpo comum de crenças, cada um que escrevia sobre a ótica física sentia-se compelido a construir o campo a partir das suas fundações. Nessas circunstâncias, o diálogo dos livros que resultavam era dirigido com frequência tanto aos membros de outras escolas quanto à natureza. Tal padrão não deixa de ser familiar a um certo número de campos criativos da atualidade, nem é incompatível com descobertas e invenções significativas. Ele não é, contudo, o padrão de desenvolvimento que a ótica física adquiriu depois de Newton, e que outras ciências naturais tornam familiar hoje em dia.

A história da pesquisa sobre eletricidade na primeira metade do século dezoito fornece um exemplo mais concreto e melhor conhecido sobre o modo como se desenvolve uma ciência antes que ela adquira seu primeiro paradigma universalmente assumido. Durante aquele período havia quase tantas concepções sobre a natureza da eletricidade quantos eram os mais importantes cientistas fazendo experimentos com eletricidade. Pessoas como Hauksbee, Gray, Desaguliers, Du Fay, Nollet, Watson, Franklin e outros. Todos os seus numerosos conceitos de eletricidade tinham algo em comum: eles eram derivados de uma ou outra versão da filosofia mecânico-corpuscular que guiava toda pesquisa científica naquela época. Em acréscimo, todos aqueles conceitos eram componentes de teorias científicas reais. Ou seja, eram componentes de teorias que foram extraídas de experimentos e de observações e que determinavam parcialmente a escolha e a interpretação dos problemas adicionais com que a pesquisa se comprometia. Contudo, ainda que todos os experimentos fossem feitos com eletricidade; e ainda que a maioria dos experimentadores lessem os trabalhos uns dos outros, suas teorias não tinham mais que uma semelhança de família.⁷

⁷ Duane Roller e Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge: Electricity from the Greeks to Coulomb* ("Harvard Case Histories in Experimental Science", Case 8; Cambridge, Mass., 1954); e I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), caps. vii-xii. Para

Um grupo inicial de teorias que seguiam a prática do século dezessete reconheceu a atração e a geração de fricção como os fenômenos elétricos fundamentais. Esse grupo tendeu a tratar a repulsão como um efeito secundário devido a algum tipo de ricochete mecânico, e a adiar tanto quanto possível a discussão e a investigação sistemática da condução elétrica, um efeito recém descoberto por Gray. Outros eletricitistas – o termo é deles próprios – consideraram que a atração e a repulsão fossem em igual medida manifestações elementares da eletricidade, e modificaram suas teorias de acordo com isso.⁸ Mas eles tiveram tanta dificuldade quanto o primeiro grupo para dar uma explicação simultânea dos efeitos da condução elétrica que não fossem os mais simples. Tais efeitos, contudo, ainda forneceram o ponto de partida para um terceiro grupo. Refiro-me ao grupo que tendia a falar da eletricidade como um fluido que poderia correr através de condutores – e não de um eflúvio que emanaria de não-condutores. Esse grupo, por sua vez, teve dificuldade em conciliar sua teoria com diversos efeitos de atração e de repulsão. Só através do trabalho de Franklin e seus sucessores imediatos emergiu uma teoria que podia de algum modo dar conta com igual facilidade de quase todos aqueles efeitos e, portanto, que poderia oferecer a uma geração posterior de eletricitistas um paradigma comum para a sua pesquisa.

Excluindo aqueles campos como a matemática e a astronomia cujos primeiros paradigmas estáveis datam da antiguidade; e excluindo também aqueles campos como a bioquímica que emergiram da divisão e recombinação de especialidades já amadurecidas, as situações delineadas acima são historicamente típicas. Embora eu continue a designar esses episódios históricos prolongados com infelizes rótulos simplificadores escolhidos em certa medida arbitrariamente – por exemplo, Newton ou Franklin –, sugiro que desacordos fundamentais similares caracterizaram, por exemplo, o estudo do movimento antes de Aristóteles e o estudo da estática antes de Arquimedes. Caracterizaram também o estudo do calor antes de Black, da química antes de Boyle e Boerhaave e da geologia histórica antes de Hutton. Em partes da biologia – o estudo da

alguns detalhes analíticos do parágrafo que se segue no texto, estou em débito com um artigo ainda não publicado do meu orientando John L. Heilbron. Enquanto ele não é publicado, uma reconstituição um pouco mais extensa e mais precisa da emergência do paradigma de Franklin está incluída em T. S. Kuhn, "The Function of Dogma in Scientific Research", in A. C. Crombie (ed.), "Symposium on the History of Science, University of Oxford, Julho 9-15, 1961", a ser publicado por Heinemann Educational Books, Ltd.

8 Esse grupo é de fato notavelmente pequeno. Mesmo a teoria de Franklin nunca explicou efetivamente a repulsão de dois corpos com carga negativa.

hereditariedade, por exemplo – os primeiros paradigmas universalmente aceitos são ainda mais recentes. E permanece uma questão aberta quais partes da ciência social já teriam adquirido algum paradigma, mesmo nos dias de hoje. A história sugere que o caminho para um firme consenso na pesquisa é extraordinariamente árduo.

Todavia, a história também sugere algumas razões para as dificuldades encontradas pelo caminho. Na falta de um paradigma ou de algum candidato a paradigma, todos os fatos que possivelmente poderiam pertencer ao desenvolvimento de uma dada ciência parecerão igualmente relevantes. Como resultado, nos primórdios a coleta de fatos será uma atividade muito mais aleatória do que aquela que o desenvolvimento científico subsequente torna familiar. Ademais, na ausência de uma razão para procurar alguma forma específica de informação mais difícil de ser obtida [*recôndita*], a coleta inicial de fatos fica habitualmente restrita ao acervo de dados prontos que já estão ao alcance da mão. O resultante acúmulo de fatos contém aqueles mais acessíveis à observação e ao experimento casuais, juntamente com alguns dos dados mais esotéricos que podemos conseguir em ofícios tradicionais como a medicina, a elaboração de calendários e a metalurgia. A tecnologia tem frequentemente exercido um papel vital na emergência de novas ciências porque os ofícios são uma fonte prontamente acessível de fatos que não poderiam ter sido descobertos casualmente.

Mas, ainda que esse tipo de coleta de fatos tenha sido a origem de várias ciências importantes, quando examinamos, por exemplo, os escritos enciclopédicos de Plínio ou as histórias naturais baconianas do século dezessete, descobrimos que produzem uma bagunça. De certa forma a gente hesita em chamar científica a literatura resultante. As 'histórias' baconianas do calor, da cor, do vento, da mineração e assim por diante estão cheias de informação. Dessa, alguma é do tipo difícil de obter [*recôndito*]. Mas elas justapõem fatos que mais tarde mostrar-se-ão reveladores – por exemplo, o calor por mistura – com outros – por exemplo, o calor de montes de esterco – que por algum tempo permaneceriam muito complexos para serem integrados à teoria de um modo qualquer.⁹ Além do mais, como toda descrição será parcial, a história natural típica geralmente omite de seus registros – que em grande medida são circunstanciais – exatamente aqueles detalhes que mais tarde os cientistas considerarão importantes fontes de esclarecimento. Quase

9 Compare-se com o esboço de uma história natural do calor no *Novum Organum* de Bacon, Vol. VIII dos *Works of Francis Bacon*, ed. J. Spedding, R. L. Ellis e D. D. Heath (New York, 1869), pp. 179-203.

nenhuma das 'histórias' da eletricidade, por exemplo, menciona que palha atraída por um bastão de vidro friccionado é repelida de novo. Esse efeito parecia mecânico, não elétrico.¹⁰ Ademais, já que a coleta casual de fatos raramente possui o tempo ou as ferramentas para ser crítica, as histórias naturais geralmente justapõem descrições como a apresentada acima com outras como, digamos, aquecimento por antiperístase (ou por resfriamento) que hoje de modo algum podemos confirmar.¹¹ Só muito ocasionalmente – como no caso da estática, da dinâmica e da ótica geométrica antigas – fatos coletados com tão pouco direcionamento de uma teoria preestabelecida falam com suficiente clareza para permitir a emergência de um primeiro paradigma.

Essa é a situação que cria as escolas características dos primeiros estágios do desenvolvimento de uma ciência. Não podemos interpretar uma história natural sem pelo menos um corpo implícito de crenças teóricas e metodológicas entretecidas que permita a seleção, a avaliação e a crítica. Se esse corpo de crenças já não está implícito na coleção de fatos – caso em que já teríamos à disposição mais do que 'meros fatos' – então ele deve ser substituído por algo externo como, talvez, uma metafísica em voga, uma outra ciência ou algum acidente pessoal e histórico. Não é de admirar, portanto, que nos estágios iniciais do desenvolvimento de qualquer ciência pessoas diferentes deparando-se com fenômenos do mesmo tipo – mas não com os mesmos fenômenos particulares – descrevem-nos de maneiras diferentes. O surpreendente – e talvez uma singularidade dos campos que denominamos ciência – é que essas divergências iniciais deveriam desaparecer em uma escala crescente.

Pois elas efetivamente desaparecem em uma extensão considerável e, a seguir, parece que somem de uma vez por todas. Acrescente-se que seu desaparecimento é usualmente causado pelo triunfo de uma das escolas pré-paradigmáticas que, por causa de suas próprias crenças e concepções características, enfatizou apenas alguma parte específica de um estoque de informação demasiado extenso e pouco elaborado. Aqueles eletricitistas que pensaram a eletricidade como um fluido – e que portanto deram especial ênfase à condução – fornecem um excelente exemplo para o caso em questão. Levados por essa crença – que mal poderia lidar com a conhecida

10 Roller e Roller, *op. cit.*, pp. 14, 22, 28, 43. Só depois do trabalho registrado na última dessas citações que os efeitos repulsivos ganham reconhecimento geral como inequivocamente elétricos.

11 Bacon, *op. cit.* pp. 235, 337, diz: “A água ligeiramente morna congela-se mais facilmente que a muito fria”. Para um relato parcial dos primórdios da história dessa observação estranha, consulte-se Marshall Clagett, *Giovanni Marliani and Late Medieval Physics* (New York, 1941), cap. iv.

multiplicidade dos efeitos de atração e de repulsão – vários deles tiveram a ideia de engarrafar o fluido elétrico. O resultado imediato de seus esforços foi a garrafa de Leyden, um artefato que nunca poderia ter sido inventado por pessoas que investigassem a natureza de maneira casual ou aleatória. Como esse não era o caso, a garrafa de Leyden foi desenvolvida de modo independente por pelo menos dois investigadores no início dos anos quarenta do século dezoito.¹² Quase desde o começo de suas investigações sobre a eletricidade, Franklin esteve particularmente interessado em dar uma explicação daquele aparato estranho e, no caso, particularmente revelador. Seu sucesso em fazer isso forneceu os mais eficazes argumentos para tornar sua teoria um paradigma, embora ainda fosse uma teoria incapaz de explicar quase todos os casos conhecidos de repulsão elétrica.¹³ Para ser aceita como um paradigma uma teoria deve parecer melhor que suas competidoras. Todavia, não precisa explicar todos os fatos com que é confrontada. E de fato nunca faz isso.

Aquilo que a teoria dos fluidos fez pelo subgrupo que a sustentou, o paradigma frankliniano fez mais tarde por todo o grupo dos eletricitistas. Ele sugeriu quais experimentos seriam dignos de ser realizados, e quais não deveriam ser realizados por parecerem experimentos dirigidos para manifestações secundárias ou excessivamente complexas da eletricidade. O paradigma fez esse serviço muito mais eficazmente, em parte porque o fim do debate entre escolas diferentes pôs um fim na repetida discussão dos fundamentos e, em parte, porque a confiança de que estavam agora no caminho certo encorajou os cientistas a empreenderem tipos de trabalho mais precisos, mais distantes do senso comum e da linguagem do dia a dia, e com um empenho mais concentrado e intenso.¹⁴ Livres de se preocupar indistintamente com todo e qualquer fenômeno elétrico, o grupo unido dos eletricitistas poderia investigar uma seleção de fenômenos com muito mais detalhe, projetando equipamentos muito mais especializados para a tarefa e empregando esses equipamentos de modo muito mais sistemático e

12 Roller e Roller, *op. cit.*, pp. 51-54.

13 A maior complicação estava no caso da repulsão mútua de dois corpos com carga negativa. Sobre isso ver Cohen, *op. cit.*, pp. 491-94, 531-43.

14 Dever-se-ia notar que a aceitação da teoria de Franklin não encerrou o debate por completo. Em 1759 Robert Symmer propôs uma versão de dois fluidos daquela teoria. Ainda por muitos anos depois disso os eletricitistas ficariam divididos sobre se a eletricidade era um ou dois fluidos. Mas os debates sobre essa questão apenas confirmam aquilo que já foi dito acima sobre a maneira com que um trabalho científico universalmente reconhecido une a profissão. Embora continuassem divididos sobre esse ponto, os eletricitistas rapidamente concluíram que nenhum teste experimental poderia distinguir as duas versões da teoria e que, portanto, elas eram equivalentes. Depois disso as duas escolas puderam – e realmente o fizeram – explorar todos os benefícios que a teoria de Franklin oferecia (*ibid.*, pp. 543-46, 548-54).

persistente do que jamais haviam feito antes. A coleta de fatos e a articulação da teoria tornaram-se atividades altamente dirigidas. A efetividade e a eficiência da pesquisa elétrica cresceram na mesma medida, fornecendo evidência para uma versão societária do agudo dito metodológico de Francis Bacon: “*A verdade emerge mais prontamente do erro que da confusão*”.¹⁵

Vamos examinar a natureza dessa pesquisa altamente dirigida ou baseada em paradigma na próxima seção, mas primeiro devemos indicar brevemente como a emergência de um paradigma afeta a estrutura do grupo que pratica sua profissão no campo em que isso ocorre. No desenvolvimento de uma ciência natural, quando um indivíduo ou um grupo produz pela primeira vez uma síntese capaz de atrair quase toda a próxima geração de cientistas, as escolas mais velhas gradualmente desaparecem. Em parte esse desaparecimento é causado pela conversão de seus membros ao novo paradigma. Mas sempre há algumas pessoas que se aferram a uma ou outra das antigas concepções, e são simplesmente expulsas da profissão – que daí por diante passa a ignorar seu trabalho. O novo paradigma implica uma definição nova e muito mais rígida do campo de ação profissional. Aquelas pessoas que não estiverem dispostas ou aptas a acomodar seu trabalho a ele deverão dar prosseguimento ao seu trabalho em isolamento ou então juntar-se a algum outro grupo.¹⁶ Historicamente elas têm simplesmente ficado nos departamentos de filosofia, que desovaram tantas ciências especializadas. Como essas indicações sugerem, somente a recepção de um paradigma transforma um grupo meramente interessado no estudo da natureza em uma profissão ou, pelo menos, em uma disciplina. Nas ciências – embora não em campos como a medicina, a tecnologia e o direito, cuja razão de ser é uma necessidade do mundo social externo – a constituição de revistas especializadas, a fundação de sociedades de especialistas e a reivindicação de um lugar especial nos currículos têm

15 Bacon, *op. cit.*, p. 210.

16 A história da eletricidade oferece um excelente exemplo que também pode ser encontrado nas carreiras de Priestley, Kelvin e outros. Franklin relata que Nollet – que em meados do século era o mais influente dos eletricitas – “*viveu para ser o último da sua seita, à exceção do Sr. B. – seu aluno e sucessor imediato*”. (Max Farrand [ed.], *Benjamin Franklin's Memoirs* [Berkeley, Calif., 1949], pp. 384-86). Entretanto, o mais interessante é notarmos como escolas inteiras resistem, isolando-se crescentemente da profissão. Considere-se o caso da astrologia, que um dia já foi parte integrante da astronomia. Ou se considere a continuidade de uma respeitável tradição prévia de química “romântica” no final do século dezoito e início do dezenove. Essa é a tradição discutida por Charles C. Gillispie em “*The Encyclopédie and the Jacobin Philosophy of Science: A Study in Ideas and Consequences*”, *Critical Problems in the History of Science*, ed. Marshall Clagett (Madison, Wis., 1959), pp. 255-89; e “*The Formation of Lamarck's Evolutionary Theory*”, *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, XXXVII (1956), 323-38.

sido associadas à primeira recepção de um paradigma único por um grupo de cientistas. Pelo menos foi esse o caso entre o momento – um século e meio atrás – em que o padrão institucional da especialização científica começou a se desenvolver e o momento muito recente em que a parafernália da especialização adquiriu prestígio por si mesma.

A definição mais rígida do grupo científico tem outras consequências. Quando individualmente um cientista pode considerar o paradigma como pressuposto, ele já não precisa – em seus trabalhos mais importantes – construir seu campo uma vez mais, começando pelos princípios e justificando o uso de cada conceito que introduz. Isso pode ser deixado para o escritor de livros didáticos. Dado um manual, contudo, o cientista criativo pode começar sua pesquisa no ponto em que esse livro didático termina, e se concentrar exclusivamente nos aspectos mais difíceis de perceber e de compreender dos fenômenos naturais que interessam ao seu grupo. Na medida em que ele faz isso, seus relatos de pesquisa começarão a mudar em sentidos cuja evolução foi bem pouco estudada até hoje, mas cujos produtos finais modernos são óbvios para todos e opressivos para muitos. Em geral suas pesquisas não vão mais corporificar-se em livros dirigidos a qualquer um que pudesse ter algum interesse nos problemas da sua área, como os *Experiments ... on Electricity* de Franklin e a *Origin of Species* de Darwin. Ao invés disso, elas vão aparecer na forma de artigos breves dirigidos apenas para seus colegas de profissão. Ou seja, dirigidos às pessoas cujo conhecimento de um paradigma compartilhado pode ser presumido, e que se mostram as únicas capazes de ler os artigos dirigidos a elas.

Hoje em dia nas ciências, em geral os livros ou são manuais didáticos ou são reflexões retrospectivas sobre um ou outro aspecto da vida científica. O cientista que escreve um livro vai mais provavelmente ter sua reputação prejudicada que ampliada. Só no começo – nos estágios pré-paradigmáticos de desenvolvimento de diferentes ciências – o livro geralmente possuía a mesma relação com as conquistas profissionais que ele ainda hoje mantém em outros campos da criatividade humana. E apenas naqueles campos que ainda mantêm o livro como forma de comunicação – acompanhado ou não de artigos – as linhas da demarcação do terreno profissional continuam tão imprecisas que o leigo pode ter a esperança de acompanhar os avanços através da leitura das exposições originais dos cientistas. Já na antiguidade, os relatos de pesquisa da astronomia e da matemática deixaram de ser inteligíveis para uma audiência apenas genericamente educada. Para as pessoas que não

eram da área, na dinâmica os resultados da pesquisa tornaram-se similarmente ininteligíveis na Baixa Idade Média, recapturando a inteligibilidade geral apenas por um curto período no começo do século dezessete, até que um novo paradigma substituísse aquele que tinha guiado a pesquisa medieval. A pesquisa elétrica começou a precisar de tradução para o leigo no final do século dezoito, e a maioria dos outros campos da ciência física deixou, em geral, de ser acessível no século dezenove. Durante esses mesmos dois séculos, transições parecidas podem ser isoladas nas várias partes das ciências biológicas. Em partes das ciências sociais isso pode muito bem estar ocorrendo nos dias de hoje. Embora tenha-se tornado costumeiro – e isso certamente tem sua conveniência – deplorar o alargamento do golfo que separa o cientista profissional de seus colegas de outros campos, muito pouca atenção é dada à relação essencial entre tal golfo e os mecanismos intrínsecos ao avanço científico.

Desde a remota antiguidade, um campo depois do outro cruzou a linha divisória entre aquilo que os historiadores chamam sua pré-história como ciência e a sua história propriamente dita. Essas transições para a maturidade raramente foram tão abruptas ou tão inequívocas quanto parece estar implícito em minha discussão necessariamente esquemática. Mas também não foram historicamente graduais a ponto de ser coextensivas com todo o processo de desenvolvimento dos campos em que ocorreram. Aqueles que escreviam sobre eletricidade durante as primeiras quatro décadas do século dezoito dispunham de muito mais informação sobre os fenômenos elétricos que seus predecessores do século dezesseis. Durante meio século depois de 1740, uns poucos novos tipos de fenômenos elétricos foram adicionados às suas listas. Não obstante, em aspectos relevantes, os escritos sobre eletricidade de Cavendish, Coulomb e Volta no último terço do século dezoito pareciam muito mais distanciados dos escritos de Gray, Du Fay e até mesmo de Franklin do que os textos desses descobridores no campo da eletricidade do começo do século dezoito estão dos escritos do século dezesseis.¹⁷ Em algum momento entre 1740 e 1780 os eletricitistas tornaram-se capazes pela primeira vez de considerar que o alicerce de seu campo estava sólido. A partir daí passaram a investigar

17 Os desenvolvimentos pós-franklinianos incluem um imenso aumento na sensibilidade dos detectores de carga, as primeiras técnicas confiáveis e amplamente difundidas para mensuração de carga, a evolução do conceito de capacidade e a sua relação com uma renovada e mais refinada noção de tensão elétrica, além da quantificação da força eletrostática. Sobre tudo isso ver Roller e Roller, *op. cit.*, pp. 66-81; W. C. Walker, “The Detection and Estimation of Electric Charges in the Eighteenth Century”, *Annals of Science*, I (1936), 66-100; e Edmund Hoppe, *Geschichte der Elektrizität* (Leipzig, 1884), Parte I, caps. iii-iv.

problemas mais concretos e de mais difícil detecção, reportando os resultados de suas pesquisas em artigos dirigidos a outros eletricitas, em vez de fazê-lo em livros destinados ao mundo culto em geral. Como grupo, eles atingiram aquilo que os astrônomos já tinham obtido na antiguidade, os estudiosos do movimento na Idade Média, os estudiosos da física ótica no século dezessete tardio e a geologia histórica no início do século dezenove. Isto é, tinham obtido um paradigma que se provara adequado para guiar a pesquisa do grupo todo. É difícil achar outro critério para proclamar tão claramente que um determinado campo tornou-se uma ciência, a não ser que tenhamos a posição vantajosa da retrospectiva histórica.

III. A Natureza da Ciência Normal

Então, qual é a natureza dessa pesquisa – mais profissional e restrita a especialistas – que a adoção de um paradigma comum por um grupo de cientistas permite? Se o paradigma representasse um trabalho que já foi feito de uma vez por todas, que problemas em aberto ele deixaria para o grupo unificado resolver? Tais questões parecerão ainda mais prementes se observarmos agora uma relação em que os termos usados até o momento podem ser enganadores. No uso habitual, um paradigma é um modelo ou padrão aceito. Na falta de uma palavra melhor, esse aspecto do seu significado permitiu-me no presente ensaio apropriar-me do termo 'paradigma'. Mas logo vai ficar claro que o sentido de 'modelo' e 'padrão' – que permite a apropriação da palavra – não é aqui exatamente aquele que define usualmente 'paradigma'. Na gramática, por exemplo, '*amo, amas, amat*' é um paradigma porque revela o padrão a ser usado na conjugação de um grande número de outros verbos latinos. Por exemplo, ao produzir '*laudo, laudas, laudat*'. Nessa aplicação padronizada, o paradigma funciona quando permite a replicação de exemplos. Qualquer um desses exemplos poderia, em princípio, servir para substituir o paradigma inicial. Na ciência, no entanto, um paradigma raramente é um objeto para ser repetido ou replicado. Em vez disso – como uma decisão judicial elaborada a partir do direito consuetudinário –, o paradigma é um objeto de articulações sucessivas e de especificação sob condições novas e mais rígidas.

Para vermos como isso ocorre dessa forma, devemos reconhecer o quanto um paradigma é limitado em amplitude e precisão quando ele entra em cena. Os paradigmas obtêm seus *status* porque são mais bem sucedidos que seus competidores na resolução de uns poucos problemas que o grupo de cientistas veio a reconhecer como graves. Entretanto, ser bem sucedido não significa ser completamente bem sucedido com um único problema nem ser notavelmente bem sucedido com um grande número de problemas. O sucesso de um paradigma – seja ele a análise do movimento de Aristóteles, os cálculos das posições planetárias de Ptolomeu, a aplicação da balança por Lavoisier ou a matematização do campo magnético de Maxwell – é de início em grande medida apenas uma promessa que os cientistas aprendem a ver em trabalhos científicos exemplares que ainda estão muito incompletos. A ciência normal consiste na realização dessa promessa. Tal realização se concretiza estendendo o conhecimento daqueles fatos que o paradigma destaca

como particularmente reveladores, aumentando o ajuste entre aqueles fatos e as predições do paradigma, e articulando ulteriormente o próprio paradigma.

Poucas pessoas entre os não profissionais efetivos de uma ciência madura chegam a entender quanto trabalho de depuração desse tipo um paradigma deixa para ser feito. Ou então, quão verdadeiramente fascinante tal trabalho pode mostrar-se em sua execução. Esses pontos precisam ser compreendidos. As operações de depuração do paradigma são aquelas que ocupam a maioria dos cientistas durante toda a sua carreira. Elas constituem o que estou aqui chamando de ciência normal. Quando examinada mais de perto – seja historicamente ou no laboratório contemporâneo –, a ciência normal parece uma tentativa de forçar a natureza para dentro da caixa pré-moldada e relativamente inflexível que o paradigma fornece. Não faz parte dos propósitos da ciência normal revelar novos fenômenos. De fato, aqueles fenômenos que não se ajustam à caixa paradigmática em geral nem são vistos. Também não é propósito dos cientistas que fazem ciência normal inventar novas teorias. Aliás, eles em geral são muito intolerantes com as teorias inventadas por terceiros.¹⁸ Ao invés disso, a pesquisa científico-normal é dirigida para a articulação daqueles fenômenos e teorias que o paradigma já proporciona.

Talvez tudo isso seja defeito. As áreas investigadas pela ciência normal são claramente minúsculas. O empreendimento que estamos discutindo tem uma visão drasticamente restrita. Mas essas restrições – nascidas da confiança dos cientistas em um paradigma – resultam essenciais para o desenvolvimento da ciência. Ao focar a atenção sobre um pequeno conjunto de problemas relativamente difíceis de resolver, o paradigma força os cientistas a investigar alguma parte da natureza em tal grau de detalhamento e profundidade que seria inimaginável de outro modo. Mas, a ciência normal possui um mecanismo embutido que assegura o relaxamento das restrições que coagem a pesquisa, quando quer que o paradigma de que derivam cesse de funcionar efetivamente. Nesse ponto os cientistas começam a se comportar diferentemente e a natureza de seus problemas de pesquisa muda. Contudo, enquanto isso não ocorre – ou seja, durante o período em que o paradigma prospera – a profissão estará resolvendo problemas que seus membros mal poderiam imaginar que resolveriam, e que nunca se teriam postos a

18 Bernard Barber, “Resistance by Scientists to Scientific Discovery”, *Science*, CXXXIV (1961), 596-602.

resolver sem o comprometimento com o paradigma. E pelo menos parte do produto desse trabalho sempre prova ser duradoura.

Para mostrar mais claramente o que se quer dizer com pesquisa normal ou pesquisa baseada em paradigma, deixe-me tentar classificar e ilustrar os problemas de que, sobretudo, consiste a ciência normal. Por conveniência, adio a atividade teórica e começo pela coleta de fatos. Isto é, começo pelos experimentos e observações descritos nas revistas técnicas pelas quais os cientistas informam seus colegas dos resultados de suas pesquisas em andamento. Ordinariamente, os cientistas reportam-se a quais aspectos da natureza? O que determina a sua escolha? E o que motiva o cientista a prosseguir nessa escolha até que chegue a uma conclusão, já que quase toda observação científica consome muito tempo, equipamento e dinheiro?

Penso que haja só três focos normais para a investigação científica fatual, e eles nem sempre e nem permanentemente se distinguem.

Em primeiro lugar está aquela classe de fatos que o paradigma mostrou ser particularmente reveladora da natureza das coisas. Por empregá-los na resolução de problemas, o paradigma faz com que mereçam ser determinados com mais precisão e, ao mesmo tempo, faz com que mereçam ser determinados em uma variedade maior de situações. Em ocasiões diversas, essas determinações fatuais significativas incluíram: na astronomia, as posições e magnitudes das estrelas, o eclipse das estrelas binárias e o eclipse dos planetas; na física, as gravidades específicas e a compressibilidade dos materiais, os comprimentos de onda e as intensidades espectrais, as condutividades elétricas e os potenciais de contato; e na química, os pesos de combinação e de composição, os pontos de ebulição e a acidez das soluções, as fórmulas estruturais e as atividades óticas. As tentativas de aumentar a precisão e a amplitude do conhecimento desses fatos ocupam uma fração significativa da literatura da ciência experimental e observacional. Complexos aparelhos têm sido repetidamente projetados para tais propósitos. E o desenvolvimento desses aparelhos tem demandado talento de primeira grandeza, muito tempo de trabalho e considerável suporte financeiro. Síncrotrons e radiotelescópios são apenas os exemplos mais recentes de até onde os operários da pesquisa podem ir quando um paradigma lhes assegura que os fatos que estão investigando são importantes. De Tycho Brahe a E. O. Lawrence, alguns cientistas adquiriram grande reputação. No caso desses cientistas, isso não ocorreu em razão de qualquer novidade de suas descobertas, mas da precisão, da

credibilidade e do alcance dos métodos que eles desenvolveram para a redeterminação de um tipo de fato já conhecido previamente.

Uma segunda classe mais comum, ainda que menor, de determinações fatuais é dirigida àqueles fatos que podem ser diretamente comparados com as predições da teoria do paradigma. Mesmo que, em geral, essas determinações fatuais não pareçam ter qualquer outra utilidade. Como nós vamos ver logo à frente, quando eu passar dos problemas experimentais para os problemas teóricos, raramente há muitas áreas em que uma teoria científica pode ser comparada com a natureza. Principalmente se ela foi formulada em uma linguagem predominantemente matemática. Mesmo nos dias de hoje, não mais que três dessas áreas são acessíveis à teoria geral da relatividade de Einstein.¹⁹ Ademais, mesmo naquelas áreas em que a aplicação é possível, ela demanda aproximações teóricas e instrumentais que limitam severamente o acordo esperado entre teoria e natureza. Aperfeiçoar esse acordo – ou encontrar novas áreas em que esse acordo possa em certa medida ser demonstrado – apresenta um desafio constante à habilidade e à imaginação do experimentador e observador.

Telescópios especiais para demonstrar a predição copernicana da paralaxe anual. A máquina de Atwood, inventada quase um século depois da publicação dos *Principia* para dar a primeira demonstração inequívoca da segunda lei de Newton. O aparelho de Foucault para demonstrar que a velocidade da luz é maior no ar que na água. O gigantesco contador de cintilações projetado para demonstrar a existência do neutrino, etc. Todos esses aparatos especiais – e muitos outros como eles – ilustram o imenso esforço e engenhosidade que foram requeridos para trazer a natureza e a teoria para um acordo cada vez mais estreito.²⁰ Essa tentativa de demonstrar acordo entre

19 O único ponto de aferição que há muito é reconhecido por todos é a precessão do periélio de Mercúrio. A mudança para o vermelho no espectro da luz das estrelas distantes pode ser derivada de considerações mais elementares que a relatividade geral. E o mesmo pode ser possível para a flexão da luz em torno do sol – um ponto que agora desperta certa disputa. De qualquer modo, as medidas desse último fenômeno permanecem equívocas. Um ponto de aferição adicional pode ter sido estabelecido muito recentemente: a mudança gravitacional da radiação de Mossbauer. Talvez logo tenhamos outros nesse campo agora ativo, mas que ficou dormente por longo tempo. Para uma exposição atualizada e concisa do problema ver L. I. Schiff, “A Report on the Nasa Conference on Experimental Tests of Theories of Relativity”, *Physics Today*, XIV (1961), pp. 42-48.

20 Para dois dos telescópios de paralaxe, ver Abraham Wolf, *A History of Science, Technology, and Philosophy in the Eighteenth Century* (2d. ed.; London, 1952), pp. 103-5. Para a máquina de Atwood ver N. R. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), pp. 100-102, 207-8. Para os dois últimos equipamentos especiais ver M. L. Foucault, “Méthode générale pour mesurer la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau ...”, *Comptes rendus ... de l'Académie des sciences*, XXX (1850), pp. 551-60; e C. L. Cowan Jr. et al., “Detection of the Free Neutrino: A Confirmation”, *Science*, CXXIV (1956), pp. 103-4.

teoria e natureza é um segundo tipo de trabalho experimental que apresenta uma dependência do paradigma ainda mais óbvia que o primeiro. A existência do paradigma estabelece os problemas a ser resolvidos. Com frequência a teoria do paradigma está diretamente implicada na projeção do aparelho adequado para a resolução do problema. Sem os *Principia*, por exemplo, as mensurações feitas com a máquina de Atwood não teriam qualquer sentido.

Penso que uma terceira classe de experimentos e observações exaure as atividades coletoras de fatos da ciência normal. Trata-se do trabalho empírico empreendido para articular a teoria do paradigma. Esse trabalho resolve algumas ambiguidades residuais da teoria e permite a solução de problemas para os quais essa teoria já tinha anteriormente chamado a atenção. Essa classe de experimentos e observações mostra-se a mais importante de todas e a sua descrição requer uma subdivisão. Nas ciências mais matematizadas, alguns dos experimentos voltados à articulação da teoria são dirigidos para a determinação das constantes físicas. O trabalho de Newton, por exemplo, indicava que a força entre duas unidades de massa por unidade de distância seria a mesma para todos os tipos de matéria, em qualquer posição no universo. Mas seus próprios problemas mal poderiam ser resolvidos sem a estimativa da grandeza dessa atração: a constante gravitacional universal. Ninguém inventou um aparelho capaz de determinar essa constante no século que transcorreu após a publicação dos *Principia*. A famosa determinação de Cavendish de 1790 tampouco foi a última. Por causa da sua posição central na teoria física, valores mais precisos da constante gravitacional foram desde então objeto de repetidos esforços por muitos experimentadores proeminentes.²¹ Outros exemplos do mesmo tipo de trabalho contínuo incluiriam as determinações das unidades astronômicas, o número de Avogadro, o coeficiente de Joule, a carga eletrônica e assim por diante. Poucos desses laboriosos esforços teriam sido concebidos – e nenhum teria sido levado a cabo – sem uma teoria do paradigma para definir o problema e garantir a existência de uma solução estável.

Os esforços para articular o paradigma não são, contudo, restritos à determinação de constantes universais. Eles também podem, por exemplo, visar a leis quantitativas. A Lei de Boyle que relaciona a pressão do gás ao seu volume, a Lei de Coulomb da atração elétrica e a fórmula de Joule que relaciona o calor gerado na resistência elétrica e a corrente estão todas nessa categoria. Pode não

21 J. H. P[oynting] revisa cerca de duas dúzias de medidas da constante gravitacional entre 1741 e 1901 em “Gravitation Constant and Mean Density of the Earth”, *Encyclopædia Britannica* (11th. ed.; Cambridge, 1910-11), XII, 385-89.

parecer óbvio que um paradigma seja pré-requisito para a descoberta de leis como essas. Com frequência ouvimos falar que tais leis são encontradas pelo exame de mensurações feitas por si mesmas, sem um comprometimento teórico. Mas a história não oferece respaldo para um método tão excessivamente baconiano. Os experimentos de Boyle não seriam concebidos – e se concebidos teriam recebido uma outra interpretação, ou até mesmo nenhuma interpretação – antes que o ar fosse reconhecido como um fluido elástico a que todos os conceitos elaborados para a hidrostática pudessem ser aplicados.²² O sucesso de Coulomb dependeu da construção, por ele mesmo, de um aparelho especial para medir a força entre cargas pontuais.²³ Mas o desenho daquele aparelho por Coulomb dependeu, por seu turno, do reconhecimento prévio de que qualquer partícula do fluido elétrico age à distância sobre todas as outras. Era a força entre essas partículas – a única força que poderia ser seguramente presumida como uma função simples da distância – que Coulomb procurava.²⁴ Os experimentos de Joule também serviriam para ilustrar como as leis quantitativas emergem da articulação do paradigma. De fato, a relação entre paradigma qualitativo e lei quantitativa é tão geral e íntima que, desde Galileu, tais leis têm sido conjeturadas corretamente com a ajuda do paradigma anos antes que se projete um aparelho para sua determinação experimental.²⁵

Finalmente, há um terceiro tipo de experimento que visa à articulação de um paradigma. Mais que os outros, esse tipo de experimento pode assemelhar-se à exploração, e prevalece particularmente naqueles períodos e naquelas ciências que lidam mais com aspectos qualitativos que com aspectos quantitativos da regularidade da natureza. Frequentemente, um paradigma desenvolvido para um conjunto de fenômenos é ambíguo em sua aplicação a um outro conjunto de fenômenos estreitamente relacionado com o primeiro. Assim, os experimentos têm que escolher entre várias maneiras alternativas de se aplicar o paradigma à nova área de interesse. Por exemplo, as aplicações paradigmáticas

22 Para a transposição completa dos conceitos da hidrostática para a pneumática ver *The Physical Treatises of Pascal*, trad. I. H. B. Spiers e A. G. H. Spiers, com uma introdução e notas por F. Barry (New York, 1937). A introdução original de Torricelli desse paralelismo (“*Nós vivemos submersos no fundo de um oceano do elemento ar.*”) ocorre na p. 164. Seu rápido desenvolvimento é exposto pelos dois tratados principais.

23 Os aparelhos que tinham anteriormente medido forças elétricas usando balanças de prato ordinárias, etc., não encontraram qualquer regularidade consistente ou simples.

24 Duane Roller e Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge: Electricity from the Greeks to Coulomb* (“Harvard Case Histories in Experimental Science”, Case 8; Mass., 1954), pp. 66-80.

25 Para exemplos, ver T. S. Kuhn, “The Function of Measurement in Modern Physical Science”, *Isis*, LII (1961), pp. 161-93.

da teoria do calórico restringiam-se ao aquecimento e ao resfriamento por misturas e por mudança de estado. Mas o calor poderia ser liberado ou absorvido de muitas outras maneiras – por exemplo, por combinação química, por fricção e por absorção de um gás – e, para cada um desses outros fenômenos, a teoria poderia ser aplicada de várias maneiras. Se o vácuo tivesse capacidade calorífica, por exemplo, o aquecimento por compressão poderia ser explicado como resultando da mistura do gás com o vazio. Ou então poderia ser devido à mudança no calor específico dos gases com a mudança da pressão. Ainda poderíamos enumerar várias outras explicações. Muitos experimentos foram feitos para elaborar essas várias possibilidades e para distingui-las umas das outras. Todos esses experimentos foram desenvolvidos a partir da teoria do calórico tomada como paradigma, e todos a exploraram no planejamento dos experimentos e na interpretação dos resultados obtidos.²⁶ Uma vez que o fenômeno do calor por compressão foi estabelecido, todos os experimentos posteriores nessa área tornaram-se paradigma-dependentes dessa maneira. Dado um fenômeno, de que outro modo poderia ser escolhido um experimento para esclarecê-lo?

Mudemos agora para os problemas teóricos da ciência normal, que caem dentro de classes muito próximas das classes dos problemas experimentais e observacionais. Uma parte do trabalho teórico normal – ainda que apenas uma pequena parte – consiste simplesmente no uso da teoria existente para predizer informações fatuais que tenham alguma utilidade social. A elaboração de calendários astronômicos, o cálculo das características das lentes e a produção de curvas de propagação de rádio são exemplos de problemas dessa ordem. Contudo, geralmente os cientistas acham isso um trabalho medíocre que deve ser deixado para engenheiros e técnicos. Raramente algum desses trabalhos vai aparecer em revistas científicas significativas. Mas essas mesmas revistas contêm uma grande quantidade de discussões teóricas de problemas que parecerão quase indiferenciadas para o não cientista. São as manipulações da teoria empreendidas porque podem ser confrontadas diretamente com o experimento – e não porque as predições que delas resultam tenham alguma utilidade. Seu propósito é mostrar uma nova aplicação do paradigma, ou aumentar a precisão de uma aplicação que já foi feita.

A necessidade de um trabalho desse tipo deriva das enormes dificuldades geralmente encontradas no desenvolvimento de pontos

26 T. S. Kuhn, “The Caloric Theory of Adiabatic Compression”, *Isis*, XLIX (1958), pp. 132-140.

de contato entre a teoria e a natureza. Essas dificuldades podem ser brevemente ilustradas por um exame da história da dinâmica depois de Newton. Nos primeiros anos do século dezoito, os cientistas que encontraram nos *Principia* um paradigma consideraram evidente a generalidade das suas conclusões. Eles tinham todo tipo de razão para agir assim. Nenhum outro trabalho – pelo menos que tenha sido do conhecimento da história da ciência – permitira, ao mesmo tempo, um aumento tão grande na amplitude e na precisão da pesquisa. Para os céus, Newton derivou as leis de Kepler do movimento planetário, e ainda explicou algumas das circunstâncias em que a Lua falhava em obedecê-las. Para a Terra, ele derivou os resultados de algumas observações esparsas sobre os pêndulos e sobre as marés. Ele também foi capaz de derivar a Lei de Boyle e uma importante fórmula para a velocidade do som no ar, ainda que com a ajuda de suposições adicionais *ad hoc*. Levando em conta o estado da ciência na época, o sucesso dessas demonstrações impressionou ao extremo. Não obstante, dada a generalidade presumida das Leis de Newton, o número dessas aplicações não foi grande. E Newton não desenvolveu quase nenhuma outra aplicação. Ademais, comparado com o que qualquer estudante de pós-graduação pode atingir hoje com essas mesmas leis, as poucas aplicações de Newton nem mesmo foram desenvolvidas com precisão. Finalmente, os *Principia* foram desenhados principalmente para problemas da mecânica celeste. De modo algum estava claro como adaptá-los para aplicações terrestres. Principalmente para aquelas aplicações do movimento forçado. De qualquer modo, os problemas terrestres já estavam sendo atacados com grande sucesso por um conjunto muito diferente de técnicas desenvolvidas originalmente por Galileu e Huyghens, e estendidas à área continental da Europa durante o século dezoito pelos Bernoullis, d'Alembert e muitos outros. Presumivelmente, poder-se-ia mostrar que as técnicas empregadas por eles e as técnicas dos *Principia* fossem casos especiais de uma formulação mais geral, mas por algum tempo ninguém viu muito bem como.²⁷

Concentremos momentaneamente nossa atenção no problema da precisão. Já ilustramos seu aspecto empírico. Equipamentos especiais – como o aparelho de Cavendish, a máquina de Atwood ou telescópios aperfeiçoados – foram exigidos para fornecer os dados

27 C. Truesdell, “A Program toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason”, *Archive for History of the Exact Sciences*, I (1960), pp. 3-36, e “Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error, and Failure in Newton's *Principia*,” *Texas Quartely*, X (1967), pp.281-97. T. L. Hankins, “The Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century”, *Archives internationales d'histoire des sciences*, XX (1967), pp.42-65.

especiais que as aplicações concretas do paradigma de Newton demandavam. Dificuldades parecidas na obtenção de acordo também existiram do lado da teoria. Ao aplicar suas leis aos pêndulos, por exemplo, Newton foi forçado a tratar o prumo de chumbo como um ponto de massa para que pudesse fornecer uma definição da extensão do pêndulo com um valor único. A maior parte de seus teoremas – algumas poucas exceções sendo hipotéticas e preliminares – também ignorou o efeito da resistência do ar. Esses teoremas eram apenas aproximações plausíveis. Não obstante, enquanto aproximações, eles restringiam o acordo a ser esperado entre as predições de Newton e os experimentos efetivos. As mesmas dificuldades aparecem ainda mais claramente na aplicação da teoria de Newton aos céus. Observações telescópicas quantitativas simples indicam que os planetas não obedecem exatamente as Leis de Kepler. E a teoria de Newton indica que elas não deveriam obedecer mesmo. Para derivar as Leis de Kepler, Newton foi forçado a negligenciar toda atração gravitacional, exceto aquela que há entre cada planeta individualmente e o sol. Posto que os planetas também se atraem mutuamente, apenas um acordo aproximado entre a teoria aplicada e a observação telescópica poderia ser esperado.²⁸

É claro que o acordo alcançado era mais do que satisfatório para aqueles que o obtiveram. Exceto para alguns problemas terrestres, nenhuma outra teoria poderia funcionar com tão boa aproximação. Nenhum daqueles que questionaram a validade do trabalho de Newton o fez pelo seu limitado acordo com o experimento e a observação. Não obstante, essas limitações do acordo deixaram muitos problemas teóricos fascinantes para os sucessores de Newton. Certas técnicas teóricas, por exemplo, foram requeridas para tratar os movimentos de mais de dois corpos atraindo-se mutuamente e para investigar a estabilidade de órbitas perturbadas. Problemas como esses ocuparam os melhores matemáticos da Europa durante o século dezoito e o início do século dezenove. Euler, Lagrange, Laplace e Gauss fizeram alguns de seus mais brilhantes trabalhos sobre problemas que visavam à melhoraria do ajuste entre o paradigma de Newton e a observação dos céus. Simultaneamente, muitas dessas figuras trabalharam para desenvolver a matemática exigida por aplicações que nem Newton nem seus contemporâneos da escola de mecânica da Europa continental sequer tentaram desenvolver. Eles produziram, por exemplo, uma imensa literatura e algumas técnicas matemáticas muito poderosas para a hidrodinâmica

28 Wolf, *op. cit.* pp. 75-81, 96-101; e William Whewell, *History of the Inductive Sciences* (rev. ed.; London, 1847), II, pp. 213-71.

e para o problema das cordas vibratórias. Esses problemas de aplicação respondem pelo que é provavelmente o trabalho científico mais brilhante e absorvente do século dezoito. Outros exemplos poderiam ser descobertos por um exame do período pós-paradigma do desenvolvimento da termodinâmica, da teoria ondulatória da luz, da teoria eletromagnética ou de qualquer outro ramo científico cujas leis fundamentais são inteiramente quantitativas. Pelo menos nas ciências mais matemáticas, a maior parte do trabalho teórico é desse tipo.

Mas o trabalho teórico nem sempre é desse tipo. Mesmo nas ciências matemáticas também há problemas teóricos de articulação do paradigma. E esses problemas dominam durante os períodos em que o desenvolvimento científico é predominantemente qualitativo. Tanto nas ciências mais quantitativas quanto nas ciências mais qualitativas, alguns desses problemas visam simplesmente à clarificação por meio da reformulação. Os *Principia*, por exemplo, nem sempre se mostraram um trabalho de fácil aplicação. Em parte porque até certo ponto reteve o desajeito inevitável de uma formulação feita pela primeira vez. Em parte porque muito do seu significado estava apenas implícito em suas aplicações. Para muitas aplicações terrestres, de qualquer modo, um conjunto de técnicas aparentemente não relacionadas desenvolvidas na Europa continental pareceram imensamente mais poderosas. Portanto – de Euler e Lagrange no século dezoito a Hamilton, Jacobi e Hertz no século dezenove –, muitos dos mais brilhantes físicos matemáticos da Europa esforçaram-se repetidamente para reformular a teoria mecânica, dando-lhe um formato equivalente mas lógica e esteticamente mais satisfatório. Isto é, eles desejavam exibir as lições explícitas e implícitas dos *Principia* e da mecânica da Europa continental em uma versão mais coerente logicamente. Uma versão que fosse ao mesmo tempo mais uniforme e menos equívoca em sua aplicação aos recém elaborados problemas da mecânica.²⁹

Reformulações parecidas de um paradigma ocorreram repetidamente em todas as ciências, mas a maioria delas produziu mais mudanças substanciais no paradigma que as reformulações dos *Principia* citadas acima. Tais mudanças resultaram do trabalho empírico descrito anteriormente como visando à articulação do paradigma. De fato, classificar aquele tipo de trabalho como empírico foi arbitrário. Mais que qualquer outro tipo de pesquisa normal, os problemas de articulação de paradigma são simultaneamente teóricos e experimentais. Os exemplos dados anteriormente servem

29 René Dugas, *Histoire de la mécanique* (Neuchâtel, 1950), Livros IV-V.

igualmente aqui. Antes que pudesse construir seu equipamento e fazer mensurações com ele, Coulomb teve que empregar a teoria elétrica para determinar como o equipamento deveria ser construído. A consequência das mensurações feitas com o novo equipamento foi um refinamento na teoria. Ou ainda: as pessoas que projetaram os experimentos destinados a distinguir entre as várias teorias do aquecimento por compressão, geralmente eram as mesmas que tinham elaborado as versões a ser comparadas. Eles estavam trabalhando tanto com fato quanto com teoria. Seu trabalho não produziu simplesmente nova informação, mas um paradigma mais preciso, obtido pela eliminação das ambiguidades ainda retidas pelo original sobre o qual eles trabalhavam. Em muitas ciências a maior parte do trabalho normal é desse tipo. Essas três classes de problemas – determinação do fato significativo, sintonia do fato com a teoria e articulação da teoria – esgotam, penso eu, toda a literatura empírica e teórica da ciência normal.

Há também problemas extraordinários. E pode muito bem ocorrer que é a resolução desses problemas que torna o empreendimento científico como um todo valer tanto a pena. Mas problemas extraordinários não estão sempre à disposição dos cientistas. Eles só emergem em ocasiões especiais preparadas pelo próprio avanço da ciência normal. Inevitavelmente, portanto, a esmagadora maioria dos problemas – que até mesmo os melhores cientistas se põem a resolver – enquadra-se em uma das três categorias esboçadas acima. O trabalho sob um paradigma não pode ser conduzido de nenhuma outra maneira, e desertar do paradigma é cessar de praticar a ciência que ele define. Logo descobriremos que tais deserções efetivamente ocorrem. Elas são os eixos em torno dos quais as revoluções científicas giram. Mas antes de começar o estudo dessas revoluções, nós precisamos de uma visão mais panorâmica das ocupações da ciência normal que lhes preparam o caminho.

IV. A Ciência Normal como Resolução de Charadas

A mais impressionante característica dos problemas da ciência normal que nós acabamos de repassar é quão pouco eles objetivam produzir novidades conceituais ou fenomênicas. Como no caso da medida do comprimento de onda, às vezes tudo é sabido antecipadamente, exceto os detalhes mais esotéricos do resultado obtido. Só o leque típico de expectativas dos cientistas pode ser um pouco mais aberto. As medidas de Coulomb talvez não precisassem ajustar-se a uma lei do quadrado inverso. As pessoas que trabalharam com o aquecimento por compressão, em geral estavam preparadas para qualquer um entre vários resultados. Contudo, mesmo em casos como esses, o número de resultados antecipados – e portanto assimiláveis – é sempre pequeno se comparados com o número de resultados que a imaginação pode conceber. E o projeto de pesquisa cujo resultado não se enquadra nesse conjunto mais limitado de resultados antecipados – e portanto assimiláveis – é comumente considerado um fracasso. Um fracasso que não pode ser atribuído à natureza, mas ao cientista. No século dezoito, por exemplo, pouca atenção foi dada aos experimentos que mediam a atração elétrica com dispositivos como a balança de pratos. Esses experimentos não poderiam ser utilizados para articular o paradigma de que derivavam porque não produziam resultados consistentes nem simples. Portanto, eles permaneceram meros fatos não relacionados e não relacionáveis com o avanço contínuo da pesquisa sobre eletricidade. Só em retrospecto – já estando possuídos por um paradigma posterior – nós podemos ver que características dos fenômenos elétricos eles revelam. Coulomb e seus contemporâneos, é claro, também possuíam esse paradigma posterior – ou algum paradigma que, quando aplicado ao problema da atração, produzia as mesmas expectativas. Isso explica por que Coulomb foi capaz de projetar o aparelho que deu um resultado assimilável por meio da articulação do paradigma. Mas também explica por que o resultado a que Coulomb chegou não surpreendeu ninguém, e vários de seus contemporâneos foram capazes de se adiantar em predizê-lo. De fato, o projeto de investigação cujo objetivo já é a articulação do paradigma não visa à inovação inesperada.

Mas, se o objetivo da ciência normal não são as grandes novidades concretas, e se o fracasso em se aproximar do resultado antecipado é habitualmente um fracasso personificado pelo cientista,

então por que esses problemas acabam sendo enfrentados de uma maneira ou de outra? Parte da resposta já foi desenvolvida. Pelo menos para os cientistas, os resultados da pesquisa normal são significativos porque aumentam a abrangência e a precisão com que um paradigma pode ser aplicado. Entretanto, tal resposta não explica o entusiasmo e a devoção que os cientistas mostram ao resolver problemas de ciência normal. Ninguém dedica anos para, digamos, desenvolver um espectrômetro melhor ou dar uma solução mais aperfeiçoada ao problema das cordas vibratórias simplesmente por causa da importância da informação que vai ser obtida. Os dados conseguidos pelo cálculo de efemérides ou pelas mensurações adicionais com um aparelho já disponível podem ser bem importantes, mas essas atividades são regularmente desdenhadas pelos cientistas. Isso ocorre porque essas atividades são em grande medida repetições de procedimentos que já foram feitos antes. Tal rejeição nos dá uma pista para o fascínio exercido pelo problema da pesquisa normal. Embora o resultado possa ser antecipado – em geral num nível de detalhamento tão grande que aquilo que ainda fica para ser conhecido é, em si mesmo, desinteressante –, a maneira de chegar a ele permanece muito duvidosa. Levar um problema de pesquisa normal até à sua conclusão é chegar ao antecipado por um caminho que ainda tem que ser construído, e isso exige a solução de todo tipo de complexas charadas instrumentais, conceituais e matemáticas. A pessoa bem sucedida nisso prova ser uma engenhosa solucionadora de charadas, e o desafio da charada é uma parte importante daquilo que a motiva.

As expressões 'charada' e 'solucionador de charadas' iluminam vários dos temas que foram adquirindo proeminência nas páginas anteriores. Charadas são – aqui emprego esse termo em seu significado inteiramente habitual – aquela categoria especial de problemas que servem para testar a engenhosidade ou a habilidade em solucioná-los. Os exemplos de dicionário são 'quebra-cabeças' e 'palavras-cruzadas'. São as características que esses exemplos de charadas compartilham com os problemas de ciência normal que nós precisamos isolar agora. Uma delas acabou de ser mencionada. Uma charada não será considerada boa porque seu resultado pode ser intrinsecamente interessante ou socialmente importante. Pelo contrário, problemas efetivamente urgentes – como, por exemplo, a cura do câncer ou uma proposta de paz duradoura – em geral nem apresentam charadas. Isso ocorre em grande medida por não estar claro que eles possam ter alguma solução. Imaginemos um quebra-cabeças cujas peças são selecionadas aleatoriamente a partir de duas

caixas diferentes, cada uma delas contendo um quebra-cabeças diferente. Como provavelmente esse problema resistiria até mesmo às pessoas mais engenhosas – ainda que em tese pudesse não fazê-lo –, ele não serviria como um teste para a habilidade de encontrar uma solução. Em qualquer sentido usual, nesse caso não se trata de um quebra-cabeças. Embora a importância ou utilidade social não seja critério para a formulação de uma charada, a garantia de que existe uma solução é.

Já vimos, contudo, que uma das coisas que uma comunidade científica adquire com um paradigma é um critério para escolher problemas que, enquanto o paradigma é tido como certo, se pode presumir que tenham soluções. Em grande medida são apenas esses problemas que uma comunidade vai admitir como científicos, ou encorajar seus membros a tentar resolvê-los. Outros problemas – incluindo muitos que eram padrão no contexto do paradigma anterior – são rejeitados como metafísicos, como de interesse de outras disciplinas ou, às vezes, como sendo muito controversos para entrar na agenda dos cientistas. Um paradigma pode, nessa medida, isolar a comunidade científica daqueles problemas socialmente importantes mas que não podem ser reduzidos à forma de charada. Ou seja, não podem ser formulados nos termos das ferramentas conceituais e instrumentais que o paradigma disponibiliza. Tais problemas podem ser uma distração. Disso temos uma lição brilhantemente ilustrada por vários aspectos do baconismo do século dezessete, e por algumas ciências sociais contemporâneas. Uma das razões por que a ciência normal parece avançar tão rapidamente está no fato de que seus profissionais concentram-se em problemas que só a própria falta de engenhosidade poderia impedi-los de resolver.

Se, entretanto, os problemas de ciência normal são constituídos por charadas no sentido aqui adotado, não precisamos mais perguntar por que os cientistas atacam-nos com tal paixão e devoção. Uma pessoa pode ser atraída para a ciência por muitas razões. Entre elas está o desejo de ser útil, a excitação de explorar um terreno novo, a esperança de encontrar alguma ordem e o impulso de testar o conhecimento estabelecido. Esses e vários outros motivos também ajudam a determinar os problemas específicos em cuja solução ela se engajará no futuro. Ademais – embora o resultado possa ser ocasionalmente frustrante –, há boa razão por que motivos como esses deveriam primeiro atraí-la e a seguir ludibriá-la.³⁰

30 As frustrações induzidas pelo conflito entre o papel do indivíduo e o padrão global do desenvolvimento científico podem, entretanto, ser às vezes muito sérias. Sobre isso, ver Lawrence S. Kubie, “Some Unsolved Problems of the Scientific Career”, *American Scientist*, XLI (1953), pp. 569-613; e XLII (1954), pp. 104-12.

De vez em quando o empreendimento científico como um todo prova que pode ser de alguma utilidade, abre novos territórios, revela uma ordem e testa crenças aceitas há muito tempo. Não obstante, *o indivíduo* engajado num problema de ciência normal *quase nunca está fazendo qualquer dessas coisas*. Uma vez engajado, sua motivação será de um tipo bem diferente. O que o desafia nesse momento é a convicção de que, sendo suficientemente habilidoso, ele terá sucesso na resolução de uma charada que ninguém ainda resolveu ou, pelos menos, ainda não resolveu tão bem. Muitas das maiores mentes científicas devotaram toda a sua atenção profissional a charadas difíceis desse tipo. No mais das vezes, qualquer campo particular de especialização só oferece essas charadas para o cientista se ocupar. O que não as torna menos fascinantes para o tipo certo de aficionado.

Voltemo-nos agora para um outro aspecto mais difícil e mais revelador do paralelismo entre charadas e problemas da ciência normal. Para ser classificado como uma charada, um problema deve ter outras características além de uma solução garantida. Também deve haver regras que limitem a natureza das soluções aceitáveis e os passos através dos quais elas são obtidas. Para resolver um quebra-cabeças não basta, por exemplo, “produzir uma imagem”. Tanto uma criança quanto um artista contemporâneo poderiam fazer isso distribuindo peças selecionadas – a título de formas abstratas – sobre alguma superfície neutra. Uma imagem produzida assim poderia ser muito melhor – e certamente seria mais original – que a imagem usada na feitura do quebra-cabeças. Todavia, tal imagem não seria uma solução. Para que todas as peças sejam usadas, seus lados uniformes entre si devem ficar por baixo e elas devem ser encaixadas umas nas outras sem forçá-las, até que já não haja lacunas. Tais são as regras que governam as soluções dos quebra-cabeças. Restrições parecidas sobre as soluções admissíveis das palavras cruzadas, das adivinhações e dos problemas do xadrez podem ser prontamente descobertas.

Se nós aceitarmos um uso consideravelmente elástico do termo ‘regra’ – um uso que eventualmente poderá igualar-se a ‘ponto de vista estabelecido’ ou ‘preconcepção’ –, então a resolução dos problemas selecionados dentro de uma certa tradição de pesquisa mostra algo muito parecido com esse conjunto de características das charadas. A pessoa que fabrica um instrumento para determinar os comprimentos de onda não pode se contentar com um equipamento que simplesmente atribui certos números para certas linhas espectrais. Essa pessoa não é só uma exploradora ou medidora. Pelo

contrário, por meio da análise do seu aparato nos termos da formulação estabelecida pela teoria ótica, ela deve mostrar que os números que o seu aparelho produz são os mesmos números que constam da teoria como comprimentos de onda. Se alguma imprecisão residual na teoria ou algum componente não analisado do seu aparato a impedem de completar a demonstração, seus colegas podem muito bem concluir que ela não mediu coisa alguma. Por exemplo, os máximos de dispersão de elétrons – que mais tarde foram considerados índices do comprimento de onda do elétron – aparentemente não tinham qualquer significado quando foram observados e registrados pela primeira vez. Antes que eles se tornassem medida de alguma coisa, tiveram que ser relacionados a uma teoria que predizia o comportamento ondulatório da matéria em movimento. E mesmo depois que aquela relação foi especificada, o instrumento teve que ser redesenhado para que os resultados experimentais pudessem ser correlacionados inequivocamente com a teoria.³¹ Enquanto essas condições não foram satisfeitas, nenhum problema foi resolvido.

Tipos parecidos de restrições demarcam as soluções admissíveis para os problemas teóricos. Durante todo o século dezoito, os cientistas que tentaram derivar das leis newtonianas do movimento e da gravitação o movimento observado da Lua, fracassaram em seu intento. Como resultado, alguns deles sugeriram a substituição da lei do quadrado inverso por uma outra lei que divergia dela no caso das pequenas distâncias. Todavia, para fazer isso teriam que mudar o paradigma e definir uma nova charada, deixando a charada velha sem resolver. Nesse episódio os cientistas preservaram as regras até que, em 1750, um deles descobriu como elas poderiam ser aplicadas com sucesso.³² Só uma mudança nas regras do jogo poderia ter oferecido uma alternativa.

O estudo das tradições científico-normais revela muitas regras adicionais. Tais regras fornecem muita informação sobre os compromissos que os cientistas derivam de seus paradigmas. Em que categorias principais, poderíamos dizer, essas regras se enquadram?³³ A mais óbvia – e provavelmente a mais coercitiva – é exemplificada pelas generalizações que acabamos de mencionar. São os enunciados explícitos de leis científicas e os enunciados explícitos relativos aos

31 Para uma breve exposição da evolução desses experimentos ver a página 4 da conferência de C. J. Davisson em *Les Prix Nobel en 1937* (Stockholm, 1938).

32 W. Whewell, *History of the Inductive Sciences* (rev. ed.; London, 1847), II, pp. 101-5, 220-22.

33 Devo essa questão a W. O. Hagstrom, cujo trabalho na sociologia da ciência às vezes se intersecciona com o meu próprio.

conceitos e teorias científicos. Enquanto continuam a ser reverenciados, esses enunciados ajudam na formulação das charadas e na delimitação das soluções aceitáveis. As leis de Newton, por exemplo, exerceram essas funções durante os séculos dezoito e dezenove. Enquanto elas fizeram isso, a quantidade de matéria foi uma categoria ontológica fundamental para os cientistas físicos, e as forças que atuam entre as unidades de matéria foram um tópico dominante da pesquisa.³⁴ Na química, as leis das proporções fixas e definidas tiveram por um longo tempo uma força inteiramente similar quando estabeleciam o problema dos pesos atômicos, limitavam os resultados admissíveis das análises químicas e informavam aos químicos o que eram os átomos, moléculas, compostos e misturas.³⁵ As equações de Maxwell e as leis da termodinâmica estatística têm hoje em dia o mesmo poder e a mesma função.

Regras como essas, todavia, nem são as únicas e nem mesmo as da variedade mais interessante revelada pelo estudo histórico. Em um nível inferior ou mais concreto que o nível das leis e teorias há, por exemplo, uma multidão de compromissos relativos aos tipos preferidos de instrumentação e às maneiras de se empregar legitimamente os instrumentos aceitos. A mudança de atitude frente ao papel do fogo nas análises químicas exerceu uma função vital no desenvolvimento da química no século dezessete.³⁶ No século dezenove, Helmholtz encontrou entre os fisiologistas forte resistência à noção de que a experimentação física poderia iluminar seu campo.³⁷ Em nosso século, a curiosa história da cromatografia química ilustra uma vez mais a persistência dos compromissos instrumentais que, tanto quanto as leis e teorias, equipam os cientistas com regras do jogo.³⁸ Quando analisarmos a descoberta dos raios X, encontraremos as razões para compromissos dessa ordem.

Características menos locais e temporais da ciência – ainda que também mudem – são os compromissos de nível mais elevado, *quasi-metafísicos*, que o estudo histórico revela com tanta

34 Para esses aspectos do newtonianismo ver I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), cap. vii, esp. pp. 255-57, 275-77.

35 Esse exemplo é discutido em detalhe quase no final da Seção X.

36 H. Metzger, *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e Siècle à la fin du XVIII^e Siècle* (Paris, 1923), pp. 359-61; Marie Boas, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958), pp. 112-15.

37 Leo Königsberger, *Hermann von Helmholtz*, trad. Francis A. Welby (Oxford, 1906), pp. 65-66.

38 James E. Meinhard, "Chromatography: A Perspective", *Science*, CX (1949), pp. 387-92.

regularidade. Por exemplo, logo depois de 1630 – e particularmente depois do aparecimento dos imensamente influentes escritos científicos de Descartes –, a maioria dos cientistas físicos passou a presumir que o universo era composto de corpúsculos microscópicos e que todos os fenômenos naturais poderiam ser explicados em termos de forma, tamanho, movimento e interação corpuscular. Essa teia de compromissos provou ser tanto metafísica quanto metodológica. Enquanto metafísica, ela asseverou aos cientistas que tipos de entidades o universo continha e que tipos de entidades o universo não continha. Enquanto metodológica, essa teia de compromissos asseverou-lhes como devem ser as leis últimas e as explicações fundamentais. As leis devem especificar o movimento e a interação corpuscular. Uma explicação deve reduzir qualquer fenômeno natural dado a uma ação corpuscular sob aquelas leis. Mais importante ainda foi que a concepção corpuscular do universo asseverou aos cientistas aquilo que muitos dos seus problemas de pesquisa deveriam ser. Por exemplo, um químico que, como Boyle, adotou a nova filosofia, deu particular atenção às reações que poderiam ser vistas como transmutações. Mais claramente que quaisquer outras, as transmutações mostrariam o processo de rearranjo corpuscular que está por baixo de toda transformação química.³⁹ Efeitos similares do corpuscularismo podem ser observados no estudo da mecânica, da ótica e do calor.

Finalmente, em um nível ainda mais elevado, há um outro conjunto de compromissos sem os quais nenhuma pessoa é cientista. O cientista deve, por exemplo, estar interessado em compreender o mundo e em ampliar a precisão e a amplitude com que ele foi ordenado. Tal compromisso deve, por sua vez, levá-lo a examinar – tanto por si mesmo quanto pelo trabalho dos colegas – algum aspecto da natureza com grande detalhamento empírico. Se esse exame revela bolsões de aparente desordem, então esses bolsões devem desafiá-lo a um novo refinamento de suas técnicas de observação e a uma nova articulação de suas teorias.

Sem dúvida que ainda há outras regras como as já mencionadas. Regras que têm valido para os cientistas de todos os tempos. A existência dessa forte rede de compromissos – conceituais, teóricos, instrumentais e metodológicos – é a principal fonte da metáfora que relaciona a ciência normal com a resolução de charadas. Porque ela fornece as regras que descrevem ao profissional de uma

39 Para o corpuscularismo em geral ver Marie Boas, “The Establishment of the Mechanical Philosophy”, *Osiris*, X (1952), pp. 412-541. Para seus efeitos sobre a química de Boyle ver T. S. Kuhn, “Robert Boyle and the Structural Chemistry in the Seventeenth Century”, *Isis*, XLIII (1952) pp. 12-36.

especialidade científica madura como é o mundo e como é a ciência desse mundo, esse cientista pode concentrar-se com segurança nos intrincados problemas que tais regras e o conhecimento existente definem para ele. O que vai então desafiá-lo pessoalmente é como levar a charada residual a uma solução. Nessa e em outras questões, uma discussão das charadas e das regras ilumina a natureza da prática da ciência normal. Contudo, por outro lado, essa iluminação pode ser significativamente ilusória. Embora haja regras a que todos os profissionais de uma especialidade científica devam aderir em um certo momento, essas regras não podem por si mesmas especificar tudo o que a prática desses especialistas têm em comum. A ciência normal é uma atividade altamente determinada, mas não precisa ser inteiramente determinada por regras. Eis por que no início desse ensaio eu introduzi os paradigmas compartilhados como a fonte de coerência das tradições da ciência normal, em vez de regras, postulados e pontos de vista compartilhados. As regras, eu sugiro, derivam dos paradigmas. Mas os paradigmas podem guiar a pesquisa mesmo na ausência de regras.

V. A Prioridade dos Paradigmas

Para descobrir a relação entre regras, paradigmas e ciência normal vamos primeiro considerar de que modo os historiadores isolam os núcleos especiais de comprometimento que acabaram de ser descritos como regras aceitas. A investigação histórica acurada de uma dada especialidade, em um certo período de tempo, revela um conjunto recorrente de exemplos *quasi*-padronizados de diversas teorias em suas aplicações conceituais, observacionais e instrumentais. São os paradigmas da comunidade que os livros didáticos, conferências e exercícios de laboratório revelam. Estudando-os e praticando com eles, os membros da comunidade correspondente aprendem sua profissão. É claro que o historiador vai encontrar uma zona de penumbra ocupada por trabalhos científicos cujo *status* ainda está em dúvida. Mas, em geral, o núcleo resolvido de problemas e técnicas vai ser claro. Apesar de ambiguidades ocasionais, os paradigmas de uma comunidade científica madura podem ser determinados com relativa facilidade.

A determinação dos paradigmas compartilhados, contudo, não é o mesmo que a determinação das regras compartilhadas. A determinação dos paradigmas compartilhados demanda um segundo passo. Um passo de um tipo relativamente diferente. Ao dar esse passo, o historiador deve comparar os paradigmas da comunidade entre si e com os relatórios de pesquisa que essa comunidade está produzindo. Assim fazendo, seu objetivo é descobrir que elementos isoláveis, explícitos ou implícitos, os membros da comunidade investigada podem ter *abstraído* dos seus paradigmas mais globais para utilizar como regras em sua pesquisa. Qualquer um que tenha tentado descrever ou analisar a evolução de uma tradição particular de pesquisa terá procurado, necessariamente, regras e princípios aceitos desse tipo. É quase certo, como indica a seção precedente, que esse historiador terá pelo menos algum sucesso nessa busca. Mas, se a experiência dele tiver sido mais ou menos como a minha própria, ele terá achado a busca por regras mais difícil e menos satisfatória que a busca por paradigmas. Algumas das generalizações que ele vier a empregar para descrever as crenças compartilhadas da comunidade científica não apresentarão qualquer problema. Outras, entretanto – incluindo algumas daquelas regras utilizadas acima como ilustrações –, parecerão um pouco forçadas. Se fossem formuladas da maneira exposta na seção anterior – ou de qualquer outra maneira que possamos imaginar –, é quase certo que essas regras seriam rejeitadas

por alguns membros do grupo que o historiador estuda. Apesar disso, se quisermos entender uma tradição de pesquisa em termos de regras, será preciso alguma especificação da base comum da área correspondente. Como resultado, a busca por um corpo apropriado de regras para individualizar uma determinada tradição de pesquisa normal torna-se uma fonte de frustração profunda e contínua.

Se reconhecermos tal frustração, contudo, vai ser possível diagnosticar sua fonte. Os cientistas podem concordar que um Newton, um Lavoisier, um Maxwell ou um Einstein produziram uma solução aparentemente permanente para um grupo de problemas relevantes. Ainda assim, os cientistas podem discordar – às vezes sem ter consciência disso – a respeito de certas características abstratas que tornam permanentes aquelas soluções. Isto é, eles podem concordar quanto à *identificação* que fazem de um paradigma, sem concordar a respeito de uma *interpretação* ou *racionalização* completa dele. A falta de uma interpretação padrão ou de uma redução consensual a regras não vai impedir que um paradigma guie a pesquisa. A ciência normal pode ser determinada em parte pela inspeção direta dos paradigmas. Um processo que, em geral, é ajudado pela formulação de regras e de suposições, mas que não depende delas. Efetivamente, a existência de um paradigma não precisa implicar nem mesmo um conjunto desenvolvido de regras.⁴⁰

Inevitavelmente, o primeiro efeito dessas afirmações é levantar problemas. Na falta de um corpo adequado de regras, o que restringe o cientista a uma tradição científico-normal particular? O que pode significar a expressão 'inspeção direta de paradigmas'? Respostas parciais para questões como essas foram desenvolvidas na obra tardia de Ludwig Wittgenstein, ainda que em um contexto muito diferente. Em se tratando de um contexto que é mais elementar e mais familiar, ajudará se considerarmos primeiro a forma do seu argumento. O que precisamos saber, perguntava Wittgenstein, para usarmos inequivocamente e sem provocar controvérsia palavras como 'cadeira', 'folha' ou 'jogo'?⁴¹

Essa é uma questão muito antiga e geralmente tem sido respondida quando se diz que, consciente ou intuitivamente, nós devemos saber o que é uma cadeira, ou uma folha, ou um jogo. Isto

40 Michael Polanyi desenvolveu brilhantemente um tema muito parecido, argumentando que boa parte do sucesso de um cientista depende do *conhecimento tácito*. Isto é, do conhecimento obtido pela prática e que não pode ser explicitado pela verbalização. Ver seu *Personal Knowledge* (Chicago, 1958), particularmente os capítulos v e vi.

41 Ludwig Wittgenstein, *Philosophical Investigations*, trad. G. E. M. Anscombe (New York, 1953), pp. 31-36. Mas Wittgenstein não diz quase nada sobre o tipo de mundo necessário para dar suporte ao procedimento de atribuição de nomes que ele esboça. Parte do tópico que se segue não pode portanto ser atribuída a ele.

é, nós devemos apreender algum conjunto de atributos que todos os jogos – e apenas os jogos – têm em comum. Todavia, Wittgenstein concluiu que não precisamos de nenhum conjunto semelhante de características, dado o modo como utilizamos a linguagem e o tipo de mundo ao qual nós a aplicamos. Embora uma discussão sobre *alguns* dos atributos compartilhados por *um certo número* de jogos, cadeiras ou folhas geralmente nos ajude a aprender como empregar o termo correspondente, não há qualquer conjunto de características que seja simultaneamente aplicável a todos os membros de uma classe, e a eles apenas. Ao invés disso, quando confrontados com uma atividade que não observamos anteriormente nós aplicamos, por exemplo, o termo 'jogo' porque aquilo que estamos vendo agora carrega uma estreita 'semelhança de família' com várias atividades que anteriormente aprendemos 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 sobrepostas e entrecruzadas. A existência de tal rede é suficiente para dar conta do nosso sucesso na identificação dos objetos ou atividades correspondentes. Somente se as famílias que nós nomeamos se sobrepusessem e se fundissem gradualmente umas nas outras – isto é, somente se não houvesse qualquer família *natural* –, o nosso sucesso em identificar e nomear evidenciaria um conjunto de características comuns correspondentes a cada um dos nomes de classes que empregamos.

Algo do mesmo tipo certamente também pode valer para os diferentes problemas e técnicas de pesquisa que aparecem dentro de uma certa tradição científico-normal. O que esses problemas e técnicas têm em comum não é o fato de satisfazerem algum conjunto explícito – ou que poderia ser inteiramente descoberto – de regras e postulados que dá à tradição científica o seu caráter e a sua posse do intelecto científico. Ao invés disso, esses problemas e técnicas relacionam-se por semelhança e também por modelar-se em uma ou outra parte do *corpus* científico que a comunidade já reconhece entre seus produtos legítimos. Os cientistas trabalham a partir dos modelos adquiridos através da educação, e através da subsequente exposição à literatura produzida em sua área, em geral não conhecendo suficientemente – ou nem mesmo precisando conhecer – que características deram a esses modelos o *status* de paradigmas da comunidade. E porque assim fazem, os cientistas não precisam de nenhum conjunto extenso de regras. A coerência apresentada pela tradição de pesquisa de que participam pode não implicar nem mesmo um corpo subjacente de regras e suposições que a

investigação histórica ou filosófica posterior poderia explicitar. Que os cientistas habitualmente não questionem ou debatam o que torna legítimos um certo problema ou uma solução particular é algo que nos induz a supor que eles sabem a resposta, pelo menos intuitivamente. Mas isso pode estar indicando apenas que os cientistas sentem que nem a questão nem a resposta tenham alguma importância para a pesquisa. Os paradigmas podem ser anteriores, mais coercitivos e mais completos que qualquer conjunto de regras de pesquisa que pudessem ser inequivocamente abstraídas deles.

Até aqui esse ponto foi inteiramente teórico: os paradigmas *poderiam* determinar a ciência normal sem a intervenção de regras explicitáveis. Deixe-me agora tentar incrementar a clareza e a imperatividade do que acabo de afirmar, indicando algumas das razões para acreditar que os paradigmas efetivamente operam dessa maneira. A primeira – que já foi discutida bem extensamente – é a enorme dificuldade de se descobrirem regras que teriam guiado tradições específicas de ciência normal. Essa dificuldade é aproximadamente a mesma que o filósofo encontra ao tentar expor aquilo que todos os jogos têm em comum. A segunda – da qual a primeira razão apontada é realmente um corolário – está enraizada na natureza da educação científica. Já deveria estar claro que os cientistas nunca aprendem conceitos, leis e teorias em abstrato e por si mesmos. Em vez disso, essas ferramentas intelectuais são encontradas desde o início implícitas em um agregado que lhes antecede histórica e pedagogicamente, e que as mostra juntamente com suas aplicações e por meio de suas aplicações. Uma nova teoria é sempre anunciada juntamente com suas aplicações a alguma série concreta de fenômenos naturais. Sem essas aplicações ela não poderia nem mesmo candidatar-se à aceitação. Depois que a teoria é aceita, tais aplicações – ou outras – acompanham as teorias nos livros didáticos em que o futuro cientista vai aprender seu ofício. Elas não estão lá meramente como enfeite, ou mesmo como ilustração documental. Pelo contrário, o processo de aprendizagem de uma teoria depende do estudo de aplicações, incluindo a prática de resolução de problemas que se desenvolve tanto com lápis e papel quanto com o uso de instrumentos em um laboratório. Se, por exemplo, o estudante de dinâmica newtoniana chega a descobrir o significado de termos como *força*, *massa*, *espaço* e *tempo*, ele consegue isso menos a partir das definições incompletas que ele tem no manual – ainda que eventualmente úteis – que pela observação e pela participação na aplicação desses conceitos na solução de problemas.

Tal processo de aprender fazendo – ou aprender por exercícios repetitivos – continua através de todo o período da iniciação profissional. Na medida em que o estudante avança do início da graduação até a tese de doutorado, os problemas apresentados a ele tornam-se cada vez mais complexos e cada vez menos completamente antecédidos de precedentes similares. Mas eles continuarão sempre estreitamente modelados nos trabalhos científicos prévios. Da mesma forma que serão modelados em trabalhos científicos prévios os problemas que normalmente o ocuparão durante a sua subsequente carreira científica independente. Qualquer um pode ficar à vontade para supor que, no decorrer de sua carreira, em algum momento e lugar o cientista abstraiu intuitivamente as regras do seu próprio jogo científico. Mas há pouca razão para se acreditar nisso. Embora muitos cientistas falem bem e com facilidade a respeito das hipóteses específicas individuais que subjazem um projeto de pesquisa em andamento, eles não estão em posição muito melhor que a do leigo para caracterizar as bases de seu campo, e também seus problemas e métodos legítimos. Se, de qualquer modo, chegaram a aprender abstrações dessa ordem, eles vão mostrar isso em especial através da habilidade em conduzir pesquisas bem sucedidas. Entretanto, essa habilidade pode ser compreendida sem que se recorra a hipotéticas regras do jogo.

Essas consequências da educação científica têm um reverso que fornece uma terceira razão para supor que os paradigmas guiam a pesquisa pela modelagem direta, assim como por regras abstraídas do paradigma. A ciência normal pode seguir em frente sem regras, na medida em que a comunidade científica a que nos referimos aceita sem questionar as soluções de problemas particulares já obtidas. As regras só deveriam se tornar importantes – e a característica despreocupação em relação a elas só deveria desvanecer-se – quando os paradigmas e modelos passassem a ser sentidos pelos cientistas como inseguros. E, de fato, é exatamente isso que ocorre. Em particular o período pré-paradigma é regularmente marcado por debates profundos e frequentes sobre os métodos, problemas e padrões de solução legítimos, ainda que isso sirva muito mais para definir diferentes escolas que para produzir acordo. Nós já registramos uns poucos debates desse tipo na ótica e na eletricidade. Eles desempenharam um papel ainda maior no desenvolvimento da química do século dezessete e da geologia no início do século dezanove.⁴² Ademais, debates como esses não se desvanecem de uma

⁴² Para a 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, 146-49; e Marie Boas, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958), cap. ii. Para a geologia, ver

vez por todas com o aparecimento de um paradigma. Embora quase não existam durante os períodos de ciência normal, eles ocorrem regularmente um pouco antes e durante as revoluções científicas. Isto é, nos períodos em que os paradigmas são primeiro submetidos a ataque e depois são submetidos a transformação. A transição da mecânica newtoniana para a mecânica quântica acionou muitos debates sobre a natureza da física e seus padrões, alguns dos quais ainda em andamento.⁴³ Há pessoas que estão vivas até hoje e que podem se lembrar de discussões parecidas engendradas pela teoria eletromagnética de Maxwell e pela mecânica estatística.⁴⁴ E num passado ainda mais distante, a assimilação das mecânicas de Galileu e Newton deu origem a uma série particularmente famosa de debates com aristotélicos, cartesianos e leibnizianos sobre os padrões legítimos da ciência.⁴⁵ Quando os cientistas discordam sobre se os problemas fundamentais de seu campo teriam sido resolvidos ou não, a busca de regras ganha uma função que ordinariamente não tem. Enquanto os paradigmas permanecem seguros, contudo, eles podem funcionar sem um acordo sobre racionalização ou mesmo sem qualquer tentativa de racionalização.

Uma quarta razão para garantir aos paradigmas um *status* de precedência em relação às regras e suposições compartilhadas pode encerrar essa seção. Na Introdução ao presente ensaio sugeri que pode haver revoluções pequenas e grandes. Sugeri ainda que algumas revoluções afetam somente uma subespecialidade profissional e que, para tais grupos, mesmo a descoberta de um fenômeno novo e inesperado pode ser revolucionária. A próxima seção vai apresentar uma seleção de revoluções desse tipo, mesmo que ainda hoje esteja longe de ser claro como elas podem existir. Pelo que ficou implícito na discussão precedente, se a ciência normal é tão rígida, e se as comunidades científicas são tricotadas em malhas tão estreitas, como pode uma mudança de paradigma afetar em determinado momento

Walter F. Cannon, "The Uniformitarian-Catastrophist Debate", *Isis*, LI (1960), 38-55; e C. C. Gillispie, *Genesis and Geology* (Cambridge, Mass., 1951), caps. iv-v.

43 Para as controvérsias sobre a mecânica quântica, ver Jean Ulmo, *La crise de la physique quantique* (Paris, 1950), cap. ii.

44 Para a mecânica estatística ver René Dugas, *La théorie physique au sens de Boltzmann et ses prolongements modernes* (Neuchâtel, 1959), pp. 158-84, 206-19. Para a recepção do trabalho de Maxwell, ver Max Planck, "Maxwell's Influence in Germany", in *James Clerk Maxwell: A Commemorative Volume, 1831-1931* (Cambridge, 1931), pp. 45-65, esp. pp. 58-63; e Silvanus P. Thompson, *The Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (London, 1910), II, 1021-27.

45 Para um exemplo da batalha com 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), 329-95. Para os debates com os cartesianos e leibnizianos, ver Pierre Brunet, *L'introduction des théories de Newton en France au XVII^e siècle* (Paris, 1931); e A. Koyré, *From the Closed World to the Infinite Universe* (Baltimore, 1957), cap. xi.

apenas um minúsculo subgrupo? O que foi dito até agora pareceu implicar que a ciência normal é um empreendimento único, monolítico e unificado, que se deve manter ou desabar juntamente com qualquer um de seus paradigmas, ou então com todos eles juntos. Mas é óbvio que a ciência raramente ou nunca se assemelha a algo assim. Em geral – quando vemos todos os campos científicos juntos – a ciência se parece muito mais com uma estrutura desengonçada, que tem pouca coerência entre as suas várias partes. Nada do que foi dito até agora, contudo, conflita com essa observação muito familiar. Pelo contrário. Substituir as regras pelos paradigmas deveria tornar mais fácil de entender a diversidade dos campos e especialidades científicas. As regras explícitas, quando existem, são usualmente comuns a um grupo científico muito amplo. Mas isso não precisa ocorrer com os paradigmas. Os praticantes de campos largamente separados – digamos, os astrônomos e os botânicos taxonômicos – são educados pela exposição a trabalhos científicos muito diferentes, descritos em livros muito diferentes. E mesmo pessoas que – estando nos mesmos campos científicos ou em campos científicos muito próximos – começam estudando vários dos mesmos livros e trabalhos científicos, podem adquirir paradigmas bem diferenciados no decorrer da sua especialização profissional.

Consideremos, para dar só um exemplo, a comunidade muito ampla e diversificada formada por todos os cientistas físicos. Todos os membros desse grupo aprendem hoje em dia, digamos, as leis da mecânica quântica, e a maioria deles emprega essas leis em algum estágio de sua pesquisa ou de seu ensino. Mas eles não aprendem as mesmas aplicações dessas leis e, portanto, nem todos são afetados do mesmo modo pelas mudanças na prática da mecânica quântica. Em sua rota para a especialização, uns poucos cientistas físicos aprendem apenas os princípios básicos da mecânica quântica. Outros estudam em detalhe as aplicações paradigmáticas desses princípios à química. Ainda outros estudam as aplicações paradigmáticas desses princípios à física do estado sólido, e assim por diante. O que a mecânica quântica significa para cada um deles depende dos cursos que fez, dos livros que leu e das revistas que estuda. Disso se segue que embora uma mudança na lei da mecânica quântica será revolucionária para todos esses grupos, uma mudança que repercute apenas em uma ou outra aplicação paradigmática da mecânica quântica será revolucionária apenas para os membros de uma subespecialidade profissional particular. Para o resto da profissão tal mudança não será nem mesmo revolucionária. Em resumo, embora a mecânica quântica – ou a dinâmica newtoniana e a teoria eletromagnética –

seja um paradigma para muitos grupos científicos, ela não é o mesmo paradigma para cada um deles. Portanto, ela pode determinar simultaneamente várias tradições de ciência normal que se sobrepõem sem ser coextensivas. Uma revolução produzida dentro de uma dessas tradições também não se estenderá necessariamente às outras.

Uma breve ilustração dos efeitos da especialização pode dar a toda essa série de pontos uma força adicional. Querendo saber alguma coisa sobre o que os cientistas consideravam ser a teoria atômica, um investigador perguntou a um físico de destaque e a um eminente químico se um simples átomo de hélio seria uma molécula ou não. Ambos responderam sem hesitação, mas suas respostas não foram as mesmas. Para o químico, o átomo de hélio seria uma molécula porque se comporta como uma, tendo em vista a teoria cinética dos gases. Para o físico, por outro lado, o átomo de hélio não seria uma molécula porque não apresentaria um espectro molecular.⁴⁶ Presumivelmente ambos estivessem falando da mesma partícula. Mas eles a estavam vendo através dos prismas diferenciados de seu próprio treinamento para a pesquisa e da sua própria prática científica. As experiências que ambos tinham na resolução de problemas disseram-lhes o que uma molécula deve ser. Sem dúvida que suas experiências tinham tido muito em comum mas, nesse caso, elas não disseram aos dois especialistas a mesma coisa. Na medida em que prosseguirmos, nós vamos descobrir quão cheios de consequências esses tipos de diferenças podem ocasionalmente ser.

46 O investigador era James K. Senior, com quem estou em débito pelo seu relato verbal. Algumas questões correlatas são tratadas em seu artigo "The Vernacular of the Laboratory", *Philosophy of Science*, XXV (1958), 163-68.

VI. A Anomalia e a Emergência das Descobertas Científicas

A ciência normal – a atividade de resolução de charadas que acabamos de examinar – é um empreendimento altamente cumulativo e extremamente bem sucedido em seu objetivo, que é a contínua ampliação do alcance e da precisão do conhecimento científico. Em todos esses aspectos ela coincide notavelmente com a imagem mais habitual do trabalho científico. Apesar disso, ainda está faltando mencionar um produto padrão do empreendimento científico. A ciência normal não visa às novidades de fato e às novidades de teoria. Quando ela é bem sucedida, a ciência normal não encontra nenhuma novidade. No entanto, fenômenos novos e insuspeitados são repetidamente descobertos pela pesquisa científica. Ademais, teorias radicalmente novas têm sido repetidamente inventadas pelos cientistas. A história sugere até mesmo que o empreendimento científico chegou a desenvolver uma técnica ímpar e poderosa para produzir surpresas desse tipo. Se quisermos conciliar essa característica da ciência com o que foi dito anteriormente, então precisamos admitir que a pesquisa subordinada a um paradigma deve ser uma via particularmente eficaz de induzir a mudança paradigmática. É esse tipo de mudança que as novidades de fato e as novidades de teoria produzem. Produzidas inadvertidamente por um jogo que se joga sob um conjunto determinado de regras, essas novidades de fato e teoria requerem a elaboração de um novo conjunto de regras para que sejam assimiladas. Pelo menos para os especialistas em cujo campo particular de trabalho são produzidas e assimiladas essas novidades, depois que elas se tornam partes da ciência o empreendimento científico nunca mais voltará a ser exatamente o mesmo de novo.

Devemos perguntar agora como mudanças desse tipo ocorrem. Primeiramente serão consideradas as descobertas ou novidades fatuais. Depois serão consideradas as invenções de teoria ou novidades teóricas. Essa distinção entre descoberta e invenção ou entre fato e teoria, no entanto, vai mostrar-se de imediato excessivamente artificial. A artificialidade dessa distinção é uma importante chave para a compreensão de várias das principais teses desse ensaio. Ao examinar uma seleção de descobertas no restante dessa seção, rapidamente notaremos que elas não são acontecimentos isolados, mas episódios extensos, com uma estrutura que se repete com regularidade. As descobertas começam com a consciência de

uma anomalia. Ou seja, começam com o reconhecimento de que a natureza violou de algum modo as expectativas paradigma-induzidas que governam a ciência normal. A partir daí, elas prosseguem com uma exploração mais ou menos extensa da área da anomalia. E se encerram somente quando a teoria paradigmática foi ajustada de tal modo que o anômalo se transforma no esperado. A assimilação de um novo tipo de fato requer algo mais que um ajuste que se adiciona à teoria. E até que esse ajuste se complete – isto é, até que os cientistas aprendam a ver a natureza de um modo diferente – o novo fato não chega a ser propriamente um fato científico.

Para vermos quão estreitamente a novidade fatural se entrelaça com a novidade teórica na descoberta científica, examinemos um exemplo particularmente famoso: a descoberta do oxigênio. Pelo menos três pessoas diferentes podem reivindicá-la legitimamente e, no início dos anos setenta do século dezoito, vários outros químicos contiveram ar enriquecido em um recipiente de laboratório, sem chegar a conhecê-lo.⁴⁷ O progresso da ciência normal – nesse caso, o progresso da química pneumática – preparou de modo bem meticuloso o caminho para uma descoberta. O primeiro pretendente a descobridor que preparou uma amostra relativamente pura do gás foi o farmacêutico sueco C. W. Scheele. Todavia, nós podemos ignorar seu trabalho, uma vez que ele não foi publicado até que a descoberta do oxigênio já tivesse sido repetidamente anunciada em outros lugares. Desse modo, o trabalho de Scheele não teve qualquer efeito sobre o padrão que mais nos interessa aqui.⁴⁸ Cronologicamente, o segundo a reclamar a descoberta do oxigênio foi o cientista e teólogo britânico Joseph Priestley. Ele isolou o gás liberado pelo óxido vermelho de mercúrio em uma prolongada investigação normal sobre os ares emitidos por um grande número de substâncias sólidas. Em 1774 ele identificou o gás assim produzido como óxido nitroso. Em 1775 – impelido por testes adicionais – ele identificou o gás como ar comum com uma quantidade de flogisto menor que a usual. O terceiro reclamante da descoberta do oxigênio, Lavoisier, começou o trabalho que o conduziu ao oxigênio após os experimentos de Priestley de 1774 – e possivelmente a partir de um

47 Para a discussão ainda clássica da descoberta do oxigênio, ver A. N. Meldrum, *The Eighteenth-Century Revolution in Science – the First Phase* (Calcutta, 1930), cap. v. Um estudo recente indispensável – incluindo uma exposição sobre a controvérsia da prioridade – é Maurice Daumas, *Lavoisier, théoricien et expérimentateur* (Paris, 1955), caps. ii-iii. Para uma exposição mais completa e bibliografia, ver também T. S. Kuhn, “The Historical Structure of Scientific Discovery”, *Science*, CXXXVI (June 1, 1962), pp. 760-764.

48 Ver, no entanto, Uno Bocklund, “A Lost Letter from Scheele to Lavoisier”, *Lychnos*, 1957-58, pp. 39-62, para uma avaliação diferente do papel de Scheele.

palpite dado pelo próprio Priestley. No início de 1775 Lavoisier relatou que o gás obtido pelo aquecimento do óxido vermelho de mercúrio era “*o próprio ar, sem alteração [apesar de que] ... ele resulta mais puro, mais respirável.*”⁴⁹ Em torno de 1777 – provavelmente com o apoio de uma segunda sugestão de Priestley –, Lavoisier concluiu que o gás era uma espécie distinta, ou seja, que era um dos dois principais constituintes da atmosfera. Priestley nunca se dispôs a aceitar essa conclusão.

Esse padrão de descoberta levanta uma questão que pode ser formulada sobre todo fenômeno novo que ainda não entrou na consciência dos cientistas. Quem foi o primeiro a descobrir o oxigênio: Priestley ou Lavoisier? Se é que foi algum dos dois. Qualquer que seja o caso, quando o oxigênio foi descoberto? Assim formulada, essa última questão poderia ser feita mesmo que existisse apenas um pretendente à descoberta. Não nos concerne aqui uma resposta que ajuíze sobre a precedência do descobridor e sobre a data da descoberta. No entanto, se tentarmos produzir uma resposta dessa ordem, a natureza da descoberta será iluminada. Isso, pela simples razão de que não há resposta do tipo usualmente procurado. A descoberta não é o tipo de processo sobre o qual tem-se formulado a pergunta apropriada. O fato de que ela é feita⁵⁰ é um sintoma de que algo distorcido na imagem da ciência está atribuindo à descoberta essa função supostamente tão fundamental. Examinemos de novo o nosso exemplo. A pretensão de Priestley à descoberta do oxigênio está baseada na sua precedência no isolamento de um gás que, mais tarde, seria reconhecido como uma espécie distinta. Mas a amostra de Priestley não era pura e, se algum jeito de reter o oxigênio impuro é descobri-lo, então isso foi feito por todo mundo que engarrafou o ar atmosférico. Além do mais, se Priestley foi o descobridor, quando a descoberta foi feita? Em 1774 ele pensou ter obtido o óxido nitroso, uma espécie que ele já conhecia. Em 1775 ele viu o gás como ar desflogistizado, o que ainda não é o oxigênio. E mesmo para os químicos flogísticos, isso nem era um tipo tão inesperado de gás. A pretensão de Lavoisier pode ser mais robusta, mas apresenta os mesmos problemas. Se recusarmos a palma a Priestley, não poderemos dar o prêmio a Lavoisier pelo trabalho de 1775 que o levou a identificar o gás como “*o próprio ar em sua*

49 J. B. Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory “The Chemical Revolution of 1775-1789* (“Harvard Case Histories in Experimental Science”, Case 2; Cambridge, Mass., 1950), p. 53. Esse panfleto muito útil reimprime muitos dos documentos relevantes.

50 A precedência na descoberta do oxigênio tem sido repetidamente contestada desde os anos oitenta do século dezoito.

inteireza”. Presumivelmente devêssemos aguardar pelo trabalho de 1776 e 1777 que levou Lavoisier não a meramente ver o gás, mas a ver o quê o gás era. Contudo, mesmo esse prêmio poderia ser questionado. De 1777 até o fim da sua vida, Lavoisier insistiu que o oxigênio era um “*princípio de acidez*” atômico e que o gás oxigênio só era formado quando esse “*princípio*” unia-se com o calórico, a matéria do calor.⁵¹ Portanto, devemos dizer que o oxigênio ainda não tinha sido descoberto em 1777? Alguns podem ser tentados a fazer isso. Mas o princípio de acidez só foi banido da química depois de 1810, e o calórico persistiu até a década de sessenta do século dezenove. O oxigênio tornou-se uma substância química padrão antes de qualquer uma dessas datas.

Claramente, nós precisamos de um novo vocabulário e de novos conceitos para analisar eventos como a descoberta do oxigênio. Embora a sentença “o oxigênio foi descoberto” sem dúvida seja correta, ela nos leva a um equívoco quando sugere que descobrir algo é um ato isolado simples que podemos assimilar ao nosso habitual – e também questionável – conceito de visão. Eis porque nós assumimos tão prontamente que descobrir, como ver ou tocar, deveria ser inequivocamente atribuível a um indivíduo e a um momento no tempo. Mas atribuir a descoberta a um momento no tempo é sempre impossível, e atribuir a descoberta a um indivíduo com frequência também é. Se ignorarmos Scheele, podemos dizer com segurança que o oxigênio não foi descoberto antes de 1774. E também poderíamos dizer que o oxigênio teria sido descoberto em torno de 1777 ou logo depois. Mas dentro desses limites – ou outros como esses – qualquer tentativa de datar a descoberta deve ser necessariamente arbitrária. Isso porque descobrir um novo tipo de fenômeno é necessariamente um evento complexo. Ou seja, um evento que envolve o reconhecimento de que algo é e também o reconhecimento do que é esse algo. Note, por exemplo, que se para nós o oxigênio fosse ar desflogistizado, deveríamos insistir sem hesitação que Priestley teria sido seu descobridor, ainda que ficássemos sem saber exatamente quando. Mas se a observação e a conceituação, o fato e sua assimilação à teoria estão inseparavelmente ligados na descoberta científica, então a descoberta científica é um processo que deve levar tempo. Somente quando todas as categorias conceituais relevantes estão preparadas de antemão – caso em que o fenômeno já não seria de um novo tipo – podem ocorrer sem esforço, em conjunto e num instante o descobrir *que* e o descobrir *o quê*.

51 H. Metzger, *La philosophie de la matière chez Lavoisier* (Paris, 1935); e Daumas, *op. cit.*, cap. vii.

Admitamos então que a descoberta envolve um processo de assimilação conceitual extenso, ainda que não necessariamente prolongado. Podemos também dizer que esse processo envolve uma mudança de paradigma? Para essa questão ainda não pode ser dada nenhuma resposta geral. Mas, pelo menos nesse caso que estamos discutindo, a resposta deve ser sim. Aquilo que Lavoisier anunciou em seus escritos a partir de 1777 não era propriamente a descoberta do oxigênio, mas a teoria da combustão do oxigênio. De fato, se a descoberta do oxigênio não fosse uma parte essencial da emergência de um novo paradigma para a química, a questão da precedência com que começamos jamais teria parecido tão importante. Nesse caso e em outros, o valor que se aloca sobre um novo fenômeno – e portanto sobre seu descobridor – varia com a nossa estimativa da extensão em que o fenômeno violou as antecipações paradigma-induzidas. Notemos, no entanto – já que isso vai ser importante mais tarde –, que a descoberta do oxigênio não foi, por si mesma, a causa da mudança na teoria química. Muito antes de exercer qualquer função na descoberta do novo gás, Lavoisier estava convencido de que algo estava errado com a teoria do flogisto. Assim como também estava convencido de que corpos em combustão absorviam alguma porção da atmosfera. Em certa medida ele registrou isso no texto lacrado que confiou à Secretaria da Academia Francesa em 1772.⁵² O que o trabalho sobre o oxigênio fez foi dar muito mais forma e estrutura à sensação prévia de Lavoisier de que algo não estava funcionando. Esse trabalho informou-lhe uma coisa que ele já estava preparado para descobrir: a natureza da substância que a combustão retira da atmosfera. Tal consciência antecipada das dificuldades deve ter sido uma fração significativa daquilo que capacitou Lavoisier a ver – em experimentos como os de Priestley – um gás que o próprio Priestley fora incapaz de ver em seus experimentos. Reciprocamente, o fato de que uma ampla revisão paradigmática era necessária para ver o que Lavoisier viu deve ter sido a principal razão por que Priestley foi incapaz de ver a mesma coisa, até o final de sua longa vida.

Dois outros exemplos bem mais curtos vão reforçar muito do que acabou de ser dito e, ao mesmo tempo, nos transferir de uma elucidação da natureza das descobertas para uma compreensão das circunstâncias em que as descobertas emergem na ciência. Num esforço para representar as principais maneiras pelas quais as descobertas ocorrem, tais exemplos foram escolhidos por serem diferentes entre si e, também, diferentes do exemplo da descoberta

52 A mais autorizada exposição da origem da insatisfação de Lavoisier é Henry Guerlac, *Lavoisier – the Crucial Year: The Background and Origin of His First Experiments on Combustion in 1772* (Ithaca, N. Y., 1961).

do oxigênio. O primeiro exemplo, dos raios X, é um caso clássico de descoberta acidental. Trata-se de um tipo de descoberta que ocorre mais frequentemente do que os padrões impessoais dos relatórios científicos nos permitem apreender. Sua estória começa no dia em que o físico Roentgen interrompeu uma investigação normal dos raios catódicos porque ele notou que uma tela de platinocianeto de bário – que estava a alguma distância do seu aparelho blindado – ficou fosforescente quando a descarga estava se processando. Investigações adicionais⁵³ indicaram que a causa da fosforescência vinha diretamente do tubo de raios catódicos; que a radiação emite sombras; que a radiação não poderia ser desviada por um ímã; e muitas coisas mais. Antes de anunciar sua descoberta, Roentgen convenceu-se de que aquele efeito não era devido aos raios catódicos, mas a um agente com pelo menos alguma similaridade com a luz.⁵⁴

Até mesmo esse resumo tão breve revela clamorosas semelhanças com a descoberta do oxigênio. Antes de fazer experimentos com o óxido vermelho de mercúrio, Lavoisier realizou experimentos que não produziram os resultados antecipados pelo paradigma do flogisto. A descoberta de Roentgen também começou com o reconhecimento de que sua tela fosforesceu quando não deveria fazê-lo. Em ambos os casos a percepção da anomalia – ou seja, a percepção de um fenômeno para o qual o investigador não foi prontificado pelo seu paradigma – exerceu um papel essencial na preparação do caminho para a percepção da novidade. Igualmente nos dois casos, a percepção de que algo saiu errado foi somente o prelúdio da descoberta. Nem o oxigênio nem os raios X emergiram sem um processo subsequente de experimentação e de assimilação. Em que ponto da investigação de Roentgen, por exemplo, poderíamos dizer que os raios X foram efetivamente descobertos? De modo algum foi naquele primeiro instante em que tudo o que foi notado foi uma tela fosforescendo. Pelo menos um outro investigador também tinha visto aquela fosforescência e, para seu posterior desgosto, ele não chegou a descobrir nada.⁵⁵ Também já é praticamente certo que o momento da descoberta não pode ser deslocado para algum ponto da última semana de investigação. Naquele momento Roentgen estava explorando as propriedades da

53 Elas exigiram sete semanas de intensa atividade, durante as quais Roentgen raramente deixou o laboratório.

54 L. W. Taylor, *Physics, the Pioneer Science* (Boston, 1941), pp. 790-94; e T. W. Chalmers, *Historic Researches* (London, 1949), pp. 218-19.

55 E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Æther and Electricity*, I (2d ed.; London, 1951), p.358, n. 1. Sir George Thomson informou-me de uma segunda decepção parecida. Alertado por incontáveis chapas fotográficas embaçadas, Sir William Crookes também estava na trilha da descoberta.

nova radiação que ele *já* tinha descoberto. Só podemos dizer que os raios X emergiram em Würzburg entre 8 de novembro e 28 de dezembro de 1895.

No entanto, em uma terceira área a existência de paralelismos significativos entre as descobertas do oxigênio e dos raios X é bem menos aparente. Diferentemente da descoberta do oxigênio, a descoberta dos raios X não estava implicada em qualquer subversão óbvia da teoria científica – pelo menos durante a década que sucedeu o evento. Então, em que sentido se pode dizer que a assimilação da descoberta dos raios X necessitou uma mudança de paradigma? A razão para negar tal mudança é muito forte. É certo que os paradigmas subscritos por Roentgen e seus contemporâneos não poderiam ter sido usados para prever os raios X.⁵⁶ Mas os paradigmas aceitos por Roentgen e seus contemporâneos não proibiam – pelo menos em algum sentido óbvio – a existência dos raios X, como a teoria do flogisto proibira a interpretação dada por Lavoisier ao gás de Priestley. Pelo contrário, em 1895 a teoria e a prática científicas admitiam um certo número de radiações: visível, infravermelha e ultravioleta. Por que os raios X não poderiam ter sido aceitos como apenas mais uma forma de uma bem conhecida classe de fenômenos naturais? Por que os raios X não foram, por exemplo, recebidos do mesmo modo que a descoberta de um elemento químico adicional? Novos elementos químicos para preencher lugares vazios na tabela periódica ainda estavam sendo procurados nos dias de Roentgen. Sua busca era um projeto padrão de ciência normal. Encontrá-los propiciava apenas uma ocasião para congratulações, não para surpresa.

Mas os raios X foram saudados não apenas com surpresa, mas também com choque. Lord Kelvin antes de mais nada declarou-os uma fraude bem montada.⁵⁷ Outros ficaram estupefatos com a evidência, já não podendo duvidar dela. Embora os raios X não fossem vetados pela teoria estabelecida, eles violaram expectativas profundamente arraigadas. É uma sugestão minha que tais expectativas estavam implícitas na projeção e na interpretação de procedimentos de laboratório estabelecidos. Em torno dos anos noventa do século dezenove, o aparelho de raio catódico estava amplamente desenvolvido em numerosos laboratórios europeus. Se o equipamento de Roentgen produziu raios X, então um certo número

56 A teoria eletromagnética de Maxwell ainda não tinha sido generalizadamente aceita, e a teoria particulada dos raios catódicos era apenas uma entre várias especulações correntes.

57 Silvanus P. Thompson, *The Life of Sir William Thomson Baron Kelvin of Largs* (London, 1910), II, p. 1125.

de outros experimentadores também deveria estar num momento ou noutro produzindo aqueles raios sem o saber. Talvez aqueles raios – que certamente também poderiam ter outras fontes não reconhecidas – estivessem implicados no comportamento previamente explicado, sem que se fizesse referência a eles. No mínimo, vários tipos de aparelhos de há muito familiares deveriam no futuro ser blindados com chumbo. O trabalho já acabado de projetos normais teria agora que ser feito de novo porque anteriormente os cientistas falharam em reconhecer e controlar uma variável relevante. Sem dúvida os raios X abriram um novo campo, somando-o ao domínio potencial da ciência normal. Mas eles também modificaram campos que já existiam antes – e esse é, agora, o ponto mais importante. No processo, eles negaram a tipos de instrumentação previamente paradigmáticos o direito a esse título. Em resumo, conscientemente ou não a decisão de empregar um aparelho em particular – e também a decisão de usá-lo de um modo especificado – implica a suposição de que disso resultariam apenas certos tipos de circunstâncias. Há expectativas instrumentais da mesma forma que há expectativas teóricas, e elas com frequência exerceram uma função decisiva no desenvolvimento científico. Uma dessas expectativas instrumentais, por exemplo, faz parte da estória da demorada descoberta do oxigênio. Quando usaram um teste padrão da “*bondade do ar*”, Priestley e Lavoisier misturaram dois volumes do seu gás para um volume de óxido nítrico. Agitaram a mistura em água e mediram o volume do resíduo gasoso. A experiência anterior – a partir da qual desenvolveu-se esse procedimento padrão – assegurava-lhes que com ar atmosférico restaria um volume, e que para qualquer outro gás, ou para ar poluído, o volume seria maior. Nos experimentos com o oxigênio, ambos encontraram um volume e, conseqüentemente, identificaram o gás. Só muito mais tarde – e em parte por acidente – Priestley renunciou ao procedimento padrão e tentou misturar óxido nítrico com o seu gás em outras proporções. Então ele constatou que com o quádruplo do volume de óxido nítrico não restava quase nenhum resíduo. Seu compromisso com o procedimento de teste original – um procedimento sancionado por muita experiência anterior – foi ao mesmo tempo um compromisso com a inexistência de gases que poderiam se comportar do mesmo modo que o oxigênio.⁵⁸

Exemplos desse tipo poderiam ser multiplicados se nos referíssemos, digamos, à demorada identificação da fissão do urânio. Uma razão pela qual a reação nuclear mostrou-se particularmente difícil de reconhecer, foi que pessoas que sabiam o que esperar

58 Conant, *op. cit.*, pp. 18-20.

quando bombardeavam o urânio escolheram testes químicos apontados principalmente para os elementos do extremo superior da tabela periódica.⁵⁹ Deveríamos concluir dessa frequência com que tais compromissos instrumentais mostram-se equívocos que a ciência deveria abandonar os testes padrão e os instrumentos padrão? Isso resultaria num método de pesquisa inconcebível. Aplicações e procedimentos paradigmáticos são tão necessários à ciência quanto as leis e teorias paradigmáticas, e têm os mesmos efeitos. Inevitavelmente eles sempre restringem o campo fenomênico acessível à investigação científica. Se reconhecemos isso suficientemente, podemos simultaneamente ver um sentido essencial em que descobertas como a dos raios X compelem um segmento específico da comunidade científica a uma mudança de paradigma. E portanto a uma mudança nos procedimentos e expectativas. Como resultado, podemos compreender também como a descoberta dos raios X deixaria a impressão de abrir um estranho mundo novo para muitos cientistas, participando, desse modo, tão efetivamente da crise que conduziu à física do século vinte.

Nosso exemplo final de descoberta científica, a da garrafa de Leyden, pertence a uma classe que pode ser descrita como teórico-induzida. Inicialmente o termo pode parecer paradoxal. Muito do que foi dito até agora sugere que descobertas antecipadas por predições da teoria são partes da ciência normal e não resultam em nenhum *novo tipo* de fato. Anteriormente eu me referi às descobertas de novos elementos químicos – durante a segunda metade do século dezanove – como procedendo da ciência normal exatamente dessa maneira. Mas nem todas as teorias são paradigmáticas. Durante os períodos pré-paradigma e durante as crises que conduzem a mudanças em larga escala nos paradigmas, os cientistas desenvolvem habitualmente muitas teorias especulativas e

59 K. K. Darrow, “Nuclear Fission”, *Bell System Technical Journal*, XIX (1940), pp. 267-89. O criptônio, um dos dois principais produtos da fissão, parece ter sido identificado por meios químicos só depois que a reação foi bem compreendida. O bário, o outro produto da fissão, foi quase identificado quimicamente em um estágio tardio da investigação porque, como efetivamente aconteceu, esse elemento tinha que ser adicionado à solução radioativa para precipitar o elemento pesado que os químicos nucleares estavam procurando. O fracasso em separar do produto radioativo o bário que tinha sido adicionado finalmente levou – depois que a reação foi repetidamente investigada por quase cinco anos – ao seguinte relatório: “*Como químicos nós deveríamos ser conduzidos pela investigação ... a mudar todos os nomes no esquema precedente [de reação] e escrever Ba, La, Ce no lugar de Ra, Ac, Th. Mas como 'químicos nucleares' com íntimas conexões com a física, não podemos nos permitir esse salto que iria contradizer toda a experiência prévia da física nuclear. Pode ser que uma série de estranhos acidentes torne enganadores nossos resultados.*” (Otto Hahn e Fritz Strassman, “Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehende Erdalkalimetalle”, *Die Naturwissenschaften*, XXVII [1939], p. 15).

incoesas que podem, elas mesmas, apontar o caminho para a descoberta. No entanto, essa descoberta pode não ser exatamente aquela antecipada pela hipótese pouco elaborada ou especulativa. Somente quando o experimento e a teoria provisória articulam-se conjuntamente em uma assimilação do experimento pela teoria é que a descoberta emerge e a teoria se torna um paradigma.

A descoberta da garrafa de Leyden mostra todas essas características, assim como outras que já observamos antes. Quando ela começou, não havia um paradigma único para a pesquisa elétrica. Ao invés disso, várias teorias – todas elas derivadas de fenômenos relativamente acessíveis – estavam em competição. Nenhuma delas teve muito sucesso no ordenamento da variedade dos fenômenos elétricos como um todo. Esse fracasso é a fonte de várias anomalias que forneceram o pano de fundo para a descoberta da garrafa de Leyden. Uma das escolas competidoras entre os eletricitistas considerou que a eletricidade fosse um fluido. Essa concepção levou várias pessoas a tentar engarrafar tal fluido, segurando um frasco cheio de água com as mãos e encostando a água num condutor conectado a um gerador eletrostático ativo. Ao remover o frasco da máquina e tocar a água – ou tocar um condutor conectado a ela – com as mãos desprotegidas, esses investigadores experimentavam um forte choque. No entanto, os eletricitistas ainda não conseguiram produzir a garrafa de Leyden com aqueles primeiros experimentos. O dispositivo emergiu mais lentamente e, de novo, é impossível dizer exatamente quando sua descoberta foi completada. As primeiras tentativas de armazenar o fluido elétrico só funcionaram porque os investigadores seguravam o frasco em suas mãos, ao mesmo tempo em que se mantinham em contato com o solo. Os eletricitistas ainda precisariam aprender que a garrafa de Leyden requer uma capa condutora externa e uma capa condutora interna, além de não chegar propriamente a armazenar o fluido no frasco. Em algum momento no curso das investigações que lhes mostraram tudo isso – e que lhes apresentaram vários outros efeitos anômalos – o artefato que denominamos garrafa de Leyden emergiu. Ademais, os experimentos que conduziram à sua emergência, muitos deles realizados por Franklin, foram também os experimentos que exigiram uma drástica revisão da teoria do fluido, fornecendo assim o primeiro paradigma pleno para a eletricidade.⁶⁰

60 Para vários estágios na evolução da garrafa de Leyden, ver I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), pp. 385-86, 400-406, 452-67, 506-7. O último estágio é descrito por Whittaker, *op. cit.*, pp. 50-52.

Em maior ou menor medida – correspondendo ao *continuum* que vai do choque inesperado até o resultado antecipado – as características comuns aos três exemplos acima são características de todas as descobertas das quais emergem novos tipos de fenômeno. Tais características incluem: a consciência prévia da anomalia, a emergência gradual e simultânea do reconhecimento observacional e conceitual, e a consequente mudança nas categorias e procedimentos paradigmáticos – mudança essa geralmente acompanhada de resistência. Há inclusive evidência de que essas mesmas características estejam embutidas na própria natureza do processo perceptivo. Em um experimento que merece ser muito melhor conhecido fora do meio especializado, Bruner e Postman solicitaram aos participantes do experimento que identificassem uma série de cartas de baralho sendo-lhes expostas controladamente, em curtos períodos de tempo. Muitas das cartas eram normais, mas algumas foram modificadas para se tornar anômalas. Por exemplo, um seis de espadas vermelho e um quatro de copas preto. Cada sessão experimental era constituída pela mostra de uma só carta para uma só pessoa, em uma série de exposições que se tornavam cada vez mais demoradas. Depois de cada exposição perguntava-se à pessoa o que ela tinha visto. A sessão terminava quando ocorriam duas identificações corretas sucessivas.⁶¹

Mesmo nas exposições mais rápidas, muitas pessoas identificaram a maior parte das cartas. Depois de um pequeno aumento do tempo das exposições, todas as pessoas identificaram todas as cartas. Para as cartas normais, as identificações eram geralmente corretas. Mas as cartas anômalas eram quase sempre identificadas como normais, sem aparente hesitação ou perplexidade. O quatro de copas preto poderia, por exemplo, ser identificado tanto como o quatro de espadas quanto como o quatro de copas. Sem qualquer consciência de algum problema, a carta era imediatamente ajustada a uma das categorias conceituais preparadas pela experiência anterior. Não se poderia nem mesmo dizer que as pessoas tenham visto algo diferente daquilo que identificaram. Com um aumento adicional da exposição às cartas anômalas, as pessoas começavam a hesitar e a exibir consciência da anomalia. Quando exposto, por exemplo, a um seis de espadas vermelho alguém dizia: “*É um seis de espadas, mas tem alguma coisa errada com ele. O preto tem uma borda vermelha.*” Um novo aumento no tempo de exposição resultou em ainda mais hesitação e confusão. Até que

61 J. S. Bruner e Leo Postman, “On the Perception of Incongruity: a Paradigm”, *Journal of Personality*, XVIII (1949), pp. 206-23.

finalmente – e às vezes não mais que repentinamente – a maioria das pessoas produzia a identificação correta sem hesitação. Ademais, depois de fazer isso com duas ou três cartas anômalas, elas passavam a ter bem pouca dificuldade com as outras cartas anômalas que viessem a aparecer. No entanto, umas poucas pessoas nunca foram capazes de fazer o ajuste necessário em suas categorias. Mesmo com quarenta vezes o tempo médio de exposição exigido pelo reconhecimento das cartas normais por aquilo que eram, mais de dez por cento das cartas anômalas não foram corretamente identificadas. E as pessoas que falharam dessa maneira experimentaram um sentimento agudo de angústia. Uma delas exclamou: *“Eu não consigo fazer a sequência, qualquer que seja ela. Daquela vez, nem mesmo pareceu uma carta. Agora já não sei de que cor ela é – ou se é espada ou copa. Já não estou nem mesmo certo de como se parece uma espada. Meu Deus!”* Na próxima seção também veremos que os cientistas ocasionalmente comportam-se dessa maneira.

Seja como metáfora, seja porque reflete a natureza da mente, esse experimento psicológico fornece um esquema maravilhosamente simples e convincente do processo da descoberta científica. Na ciência – como no experimento das cartas de baralho – a novidade só emerge com a dificuldade manifestada pela resistência produzida pelo seu contraste com o pano de fundo oferecido pela expectativa. Inicialmente, somente o antecipado e o usual são experienciados. Isso ocorre mesmo num contexto de circunstâncias em que mais tarde será observada uma anomalia. O aumento da familiarização, entretanto, resulta na consciência de algo errado, ou relaciona tal ou qual efeito a algo que deu errado antes. Essa consciência da anomalia abre um período em que as categorias conceituais são ajustadas, até que o inicialmente anômalo tenha-se tornado o antecipado. Nesse ponto, a descoberta foi completada. Eu já tinha insistido que tal processo – ou um processo muito parecido com esse – está envolvido na emergência de todas as novidades científicas fundamentais. Deixe-me assinalar agora que, ao reconhecer esse processo, enfim nós podemos começar a ver por que a ciência normal – uma ocupação não direcionada a novidades e que tende em princípio a suprimi-las – deveria, apesar disso, ser tão efetiva em causar a emergência de novidades.

No desenvolvimento de qualquer ciência, o primeiro paradigma recebido é usualmente considerado muito bem sucedido no enquadramento teórico da maioria das observações e experimentos mais facilmente acessíveis aos seus praticantes. Portanto, o desenvolvimento posterior – tendo que resolver também

os problemas que oferecem maior dificuldade – demanda a construção de equipamentos sofisticados, o desenvolvimento de competências profissionais e de um vocabulário mais especializados, além de um refinamento dos conceitos que reduz crescentemente sua semelhança com seus protótipos habituais do senso comum. A ciência ter-se-á tornado crescentemente rígida. Dentro daquelas áreas em que o paradigma dirige a atenção do grupo, por outro lado, a ciência normal leva a um nível de detalhamento da informação e a uma precisão no encaixe da observação com a teoria que não poderiam ser atingidos de nenhum outro modo. Em acréscimo, tanto o detalhamento da informação quanto a precisão do ajuste observação-teoria têm um valor para os cientistas que ultrapassa em muito a relevância que poderiam apresentar para qualquer fim útil externo à ciência. Sem a aparelhagem construída especialmente para funções previstas, os resultados que levam em última instância à novidade não poderiam ocorrer. E mesmo quando essa aparelhagem está disponível, a novidade geralmente só aparece para pessoas que se tornaram hábeis em reconhecer que algo deu errado pela simples razão de que sabem *com precisão* qual deve ser o resultado esperado. A anomalia só aparece em contraste com o contexto fornecido pelo paradigma. Quanto mais preciso e quanto maior o alcance do paradigma, mais sensível é o indicador de anomalias que ele oferece. E, portanto, também o indicador de ocasiões para uma mudança de paradigma. No modo normal da descoberta, também a resistência tem uma utilidade. Ela será explorada mais completamente na próxima seção. Ao assegurar que o paradigma não vai ser tão facilmente abandonado, a resistência garante que os cientistas não se distrairão por qualquer coisa, e que as anomalias que levam a mudanças de paradigma têm que penetrar até o cerne do conhecimento existente. O próprio fato de que uma novidade científica significativa geralmente emerge simultaneamente em vários laboratórios é um índice de que a ciência normal tem uma natureza fortemente tradicional e, ao mesmo tempo, também é um índice da completude com que esse empreendimento tradicional prepara o caminho da sua própria mudança.

VII. Crise e Emergência de Teorias Científicas

Todas as descobertas consideradas na seção VI foram causas de mudança paradigmática ou contribuíram para que ela ocorresse. Ademais, todas as mudanças em que essas descobertas estiveram implicadas foram destrutivas e também construtivas. Depois da assimilação da descoberta, os cientistas se tornavam capazes de explicar um espectro mais amplo de fenômenos naturais. Ou então, tornavam-se capazes de explicar com maior precisão alguns dos fenômenos naturais já conhecidos. Mas tal ganho era obtido somente com o descarte de algumas crenças e procedimentos considerados padrão até então e, ao mesmo tempo, com a substituição desses componentes do paradigma anterior por outros. Como tenho argumentado, mudanças dessa ordem estão associadas com todas as descobertas feitas através da ciência normal, excluindo apenas aquelas descobertas previsíveis que foram antecipadas em tudo, menos em seus detalhes. Todavia, as descobertas não são as únicas fontes dessas mudanças destrutivo-construtivas de paradigma. Na presente seção começaremos a considerar as mudanças semelhantes – mas geralmente muito mais amplas – que resultam da invenção de novas teorias.

Como já argumentei que nas ciências fato e teoria, descoberta e invenção não são categórica ou permanentemente distintos, podemos antecipar a intersecção entre a presente seção e a seção anterior.⁶² Inevitavelmente, ao tratar da emergência de novas teorias também ampliaremos nossa compreensão da descoberta. No entanto, intersecção não é identidade. Pelo menos isoladamente, os tipos de descobertas considerados na seção anterior não foram responsáveis por mudanças paradigmáticas como as revoluções copernicana, newtoniana, química e einsteiniana. Também não foram responsáveis pelas mudanças de paradigma algo menores – porque mais exclusivamente profissionais – produzidas pela teoria ondulatória da luz, pela teoria dinâmica do calor ou pela teoria eletromagnética de Maxwell. De que modo teorias como essas podem emergir da ciência normal, uma atividade ainda menos dirigida para a busca de novas teorias que para a busca de novas descobertas?

Se a consciência da anomalia exerce um papel na emergência de novos tipos de fenômenos, não deveria surpreender ninguém que uma consciência parecida – mas muito mais profunda – seja o pré-

62 A impossível sugestão de que primeiro Priestley descobriu o oxigênio e que depois Lavoisier o inventou tem seus atrativos. Já nos defrontamos com o oxigênio enquanto descoberta. Logo à frente vamos encontrá-lo de novo como invenção.

requisito para todas as mudanças aceitáveis de teoria. Penso que, nesse ponto, a evidência histórica é totalmente inequívoca. O estado da astronomia ptolomaica era escandaloso antes da publicação da teoria copernicana.⁶³ As contribuições de Galileu ao estudo do movimento dependeram estreitamente das dificuldades descobertas na teoria de Aristóteles pelos críticos escolásticos.⁶⁴ A nova teoria da luz e da cor de Newton originou-se da descoberta de que nenhuma das teorias pré-paradigma existentes abrangiam toda a extensão do espectro. Também a teoria ondulatória da luz, que substituiu a teoria de Newton, foi anunciada em meio a uma crescente preocupação com as anomalias na relação dos efeitos de difração e polarização com a teoria de Newton.⁶⁵ A termodinâmica nasceu da colisão de duas teorias físicas do século dezanove que abordavam a radiação do corpo negro, os calores específicos e o efeito fotoelétrico.⁶⁶ Ademais, em todos esses casos – exceto no de Newton – a consciência da anomalia durou tanto e penetrou tão fundo que, de modo apropriado, podemos descrever os campos afetados por ela como em um estado de crise crescente. A emergência de novas teorias é geralmente precedida de um período de acentuada insegurança profissional porque isso demanda destruição de paradigma em larga escala e enormes mudanças nos problemas e técnicas da ciência normal. Como era de se esperar, a insegurança é gerada pelo fracasso persistente em fazer as charadas da ciência normal terem o desfecho devido. A falência das regras existentes é o prelúdio de uma busca por novas regras. Em primeiro lugar, examinemos um caso particularmente famoso de mudança de paradigma: a emergência da astronomia copernicana. Na sua fase de desenvolvimento, o seu predecessor foi admiravelmente bem sucedido na predição das mudanças de posição das estrelas e dos planetas. Refiro-me ao sistema ptolomaico, num processo que transcorreu nos dois últimos séculos antes de Cristo e nos dois primeiros séculos depois. Nenhum outro sistema antigo tivera uma performance tão boa. Para as estrelas, a astronomia ptolomaica ainda hoje é

63 A. R. Hall, *The Scientific Revolution, 1500-1800* (London, 1954), p. 16.

64 Marshall Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wis., 1959), Partes II-III. A. Koyré mostra um certo número de elementos medievais no pensamento de Galileu em seus *Études Galiléennes* (Paris, 1939), particularmente no Vol. I.

65 Para Newton, ver T. S. Kuhn, "Newton's Optical Papers", in *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 Æther and Electricity*, I (2d. ed.; London, 1847), pp. 94-109; e W. Wheewell, *History of the Inductive Sciences* (ed. rev.; London, 1847), pp. 11,396-466.

66 Para a termodinâmica, ver Silvanus P. Thompson, *Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (London, 1910), I, pp. 266-81. Para a teoria quântica, ver Fritz Reiche, *The Quantum Theory*, trad. H. S. Hatfield e H. L. Brose (London, 1922).

amplamente utilizada como um dispositivo de aproximação. Para os planetas, as predições de Ptolomeu eram tão boas quanto as de Copérnico. Para uma teoria científica, no entanto, ter um sucesso admirável nunca é ter um sucesso completo. Com relação à posição planetária e à precessão dos equinócios, as predições feitas pelo sistema de Ptolomeu nunca se ajustaram muito bem às melhores observações disponíveis. O esforço posterior de redução dessas discrepâncias deu origem a muitos dos problemas de pesquisa astronômica normal para vários dos sucessores de Ptolomeu, da mesma forma que as tentativas parecidas de assimilar as observações celestes à teoria newtoniana forneceram muitos problemas de pesquisa normal para os sucessores de Newton no século dezoito. Por algum tempo, os cientistas tiveram toda razão para supor que essas tentativas teriam sucesso. Precisamente como aquelas tentativas que tinham conduzido ao desenvolvimento do sistema de Ptolomeu. Nesse caso, dada uma discrepância em particular, os astrônomos mostravam-se invariavelmente capazes de fazer algum ajuste específico no sistema ptolomaico de círculos compostos. Com o passar do tempo, contudo, alguém que examinasse o resultado líquido do esforço de pesquisa normal de muitos astrônomos poderia observar que a complexidade da astronomia estava crescendo muito mais rapidamente que a sua precisão. Poderia observar também que uma discrepância corrigida em um lugar provavelmente iria aparecer em outro.⁶⁷ Essas dificuldades só eram reconhecidas lentamente porque a tradição astronômica era repetidamente interrompida por fatores externos à ciência e porque, na ausência da imprensa, a comunicação entre os astrônomos era restrita. Mas a consciência acabou chegando. Em torno do século treze, Alfonso X poderia proclamar que se ele tivesse sido consultado por Deus durante a criação do mundo ter-lhe-ia dado bons conselhos. No século dezesseis, Domenico da Novara, o colaborador de Copérnico, sustentou que nenhum sistema tão complicado e impreciso – como se tinha tornado o sistema de Ptolomeu – teria a possibilidade de estar de acordo com a natureza. O próprio Copérnico escreveu no prefácio do *De Revolutionibus* que, no final das contas, a tradição astronômica que ele herdara só tinha criado um monstro. Em torno do início do século dezesseis, um número cada vez maior dentre os melhores astrônomos da Europa reconhecia que o paradigma astronômico estava fracassando até mesmo na aplicação aos seus próprios problemas tradicionais. Tal reconhecimento foi o pré-requisito para a rejeição por Copérnico do

67 J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (2d ed.; New York, 1953), caps. xi-xii.

paradigma ptolomaico e para a busca de um novo paradigma. Seu famoso prefácio ainda fornece uma das descrições clássicas de um estado de crise.⁶⁸

O fracasso da técnica normal de resolução de charadas não é, claro, o único ingrediente da crise astronômica que Copérnico enfrentou. Uma abordagem mais ampla também deveria discutir a pressão social pela reforma do calendário.⁶⁹ Além disso, tal abordagem mais completa deveria considerar a crítica medieval de Aristóteles, a ascensão do neoplatonismo renascentista e ainda outros elementos históricos significativos. Mas o fracasso técnico ainda permaneceria no cerne da crise. Em uma ciência madura – e a astronomia já se tinha tornado uma na antiguidade – fatores externos como os citados acima são significativos principalmente para determinar o ritmo do fracasso, o grau de facilidade com que esse fracasso pode ser reconhecido e a área em que, pela atenção que lhe foi dedicada, o fracasso ocorre em primeiro lugar. Ainda que imensamente importantes, questões desse tipo estão fora dos limites desse ensaio.

Se já temos o bastante para deixar claro o caso da revolução copernicana, voltemo-nos agora para um segundo exemplo, que é até certo ponto diferente: a crise que precedeu a emergência da teoria de Lavoisier sobre a combustão do oxigênio. Em 1770 muitos fatores combinaram-se para gerar uma crise na química. Os historiadores não estão completamente de acordo nem sobre a natureza, nem sobre a importância relativa desses fatores. Mas dois deles são geralmente aceitos como sendo de primeira grandeza: a promoção da química pneumática e a questão das relações de peso. A história da primeira começa no século dezessete, com o desenvolvimento da bomba de ar e seu uso na experimentação química. Com o uso da bomba de ar e vários outros dispositivos pneumáticos, durante o século seguinte os químicos passaram a compreender cada vez mais que o ar deve ser um ingrediente ativo nas reações químicas. Mas, com poucas exceções – tão equívocas que talvez nem possam ser consideradas exceções –, os químicos continuaram a acreditar que o ar era o único tipo de gás. Até 1756, quando Joseph Black mostrou que o ar em sua combinação química estável (CO_2) era consistentemente distinguível do ar normal, duas amostras de ar eram consideradas distintas apenas pelas suas impurezas.⁷⁰

68 T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957) pp. 135-43.

69 Uma pressão que tornou a charada da precessão dos equinócios particularmente urgente.

70 J. R. Partington, *A Short History of Chemistry* (2d ed.; London, 1951), pp. 48-51.

Depois do trabalho de Black, a investigação dos gases evoluiu rapidamente. Mais destacadamente nas mãos de Cavendish, Priestley e Scheele que, juntos, desenvolveram várias novas técnicas capazes de distinguir uma amostra de gás de outra. Todas essas pessoas, de Black a Scheele, acreditavam na teoria do flogisto e a empregavam com frequência na projeção e na interpretação de seus experimentos. Scheele foi efetivamente o primeiro a produzir oxigênio por meio de uma elaborada sequência de experimentos projetada para desflogistizar o calor. Não obstante, o resultado líquido de seus experimentos foi uma variedade tão intrincada de amostras e de propriedades de gás, que a teoria do flogisto foi-se mostrando cada vez menos apta a lidar com a experimentação laboratorial. Embora nenhum desses químicos sugerisse que a teoria do flogisto devesse ser substituída, eles se tornaram incapazes de aplicá-la consistentemente. No início dos anos setenta do século dezoito, quando Lavoisier começou seus experimentos sobre os ares, havia quase tantas versões da teoria do flogisto quantos eram os químicos pneumáticos.⁷¹ Essa proliferação de versões de uma teoria é um sintoma de crise bem comum. Em seu prefácio ao *De Revolutionibus*, Copérnico também reclamou disso.

A ambiguidade crescente e a utilidade decrescente da teoria do flogisto para a química pneumática não foram, contudo, as únicas fontes de crise com que Lavoisier se defrontou. Ele também estava muito interessado em explicar o ganho de peso que a maioria dos corpos experimenta quando abrasados ou superaquecidos – o que também era um problema com uma longa história prévia. Pelo menos alguns químicos islâmicos constataram que alguns metais ganham peso quando superaquecidos. No século dezessete vários investigadores concluíram do mesmo fato que o metal superaquecido incorpora algum ingrediente da atmosfera. Mas no século dezessete essa conclusão não pareceu uma conclusão necessária para a maioria dos químicos. Se as reações químicas podiam alterar o volume, a cor e a textura dos ingredientes, por que elas não poderiam alterar também o peso? Nem sempre o peso fora considerado uma medida da quantidade de matéria. Ademais, o ganho de peso no superaquecimento manteve-se como um fenômeno isolado. A maioria dos corpos naturais – por exemplo, a madeira – perde peso no superaquecimento, como a teoria do flogisto diria mais tarde que deveriam.

71 Embora seu interesse principal esteja em um período um pouco posterior, muito material relevante está espalhado por J. R. Partington e Douglas McKies, “Historical Studies on the Phlogiston Theory”, *Annals of Science*, II (1937), pp. 361-404; III (1938), pp. 1-58, 337-71; e IV (1939), pp. 337-71.

Durante o século dezoito, entretanto, essas respostas à questão do ganho de peso que inicialmente eram adequadas, ficaram cada vez mais difíceis de manter. Em parte porque a balança foi crescentemente usada como ferramenta padrão da química, em parte porque o desenvolvimento da química pneumática tornou não só possível como também desejável reter os produtos gasosos das reações químicas, os químicos descobriram cada vez mais casos em que o ganho de peso acompanhava o superaquecimento. Simultaneamente, a assimilação gradual da teoria gravitacional de Newton levou os químicos a insistir que o aumento no peso deveria significar aumento na quantidade de matéria. Essas conclusões não resultaram na rejeição da teoria do flogisto. Essa teoria poderia ser ajustada de muitas maneiras. Talvez o flogisto tivesse peso negativo, ou talvez partículas de fogo – ou alguma outra coisa – entrassem no corpo superaquecido na medida em que o flogisto o deixava. Outras explicações ainda poderiam ser encontradas. Mas, se o problema do ganho de peso não levou à rejeição da teoria, acabou levando a vários estudos especiais em que ele próprio adquiriu proeminência. Um desses estudos – *“Sobre o flogisto considerado como uma substância dotada de peso e [analisado] em termos das mudanças de peso que ele produz nos corpos com os quais ele se une”* – foi lido à Academia Francesa no início de 1772, o ano que se encerrou com a abertura da famosa anotação lacrada que Lavoisier encaminhara à secretaria da Academia. Antes que tal anotação tivesse sido escrita, um problema que se mantivera à margem da consciência dos químicos por muitos anos ganhou destaque como uma charada a ser resolvida.⁷² Muitas versões diferentes da teoria do flogisto estavam sendo elaboradas para enfrentá-lo. Do mesmo modo que os problemas da química pneumática, os problemas do ganho de peso estavam tornando cada vez mais difícil saber com certeza o que era a teoria do flogisto. Esse paradigma do século dezoito estava gradualmente perdendo seu *status* incontroverso, embora ainda se acreditasse e confiasse nele como uma ferramenta de trabalho. Cada vez mais a pesquisa que ele guiava ficava parecendo com as escolas que concorriam entre si no período pré-paradigma – um outro efeito típico de crise.

Como um terceiro e final exemplo, vamos considerar agora a crise da física no fim do século dezanove, que traçou o roteiro para que a teoria da relatividade emergisse. Uma das raízes daquela crise pode ser rastreada no final do século dezessete, quando vários filósofos da natureza – com destaque para Leibniz – criticaram o fato

⁷² H. Guerlac, *Lavoisier – The Crucial Year* (Ithaca, N.Y., 1961). Todo o livro documenta a evolução e o reconhecimento inicial de uma crise. Para uma clara exposição da situação no que concernia Lavoisier, ver p. 35.

de Newton ter mantido a concepção clássica do espaço absoluto, ainda que em versão atualizada.⁷³ Eles se tornaram quase capazes – mas nunca o suficiente – de mostrar que as posições e os movimentos absolutos não tinham qualquer função no sistema de Newton. No entanto, eles foram muito bem sucedidos em assinalar o considerável apelo estético que uma concepção totalmente relativista do espaço e do movimento só viria exibir bem mais tarde. Mas a crítica que eles faziam era puramente lógica. Como os primeiros copernicanos – que criticaram as provas de Aristóteles da estabilidade da Terra –, eles nem sonhavam que um sistema relativista pudesse ter consequências observacionais. Em nenhum momento eles relacionavam suas concepções com os problemas que apareciam quando se aplicava a teoria de Newton à natureza. Disso resultou que as concepções desses filósofos da natureza morreram com eles durante as primeiras décadas do século dezoito. Todavia, essas concepções ressuscitariam nas últimas décadas do século dezanove, quando passaram a ter uma relação muito diferente com a prática da física.

Os problemas técnicos com que uma filosofia relativista do espaço acabaria por se relacionar começaram a fazer parte da ciência normal com a aceitação da teoria ondulatória da luz em torno de 1815 e no período que se seguiu àquele ano, embora não tenham desencadeado nenhuma crise até a década de noventa do mesmo século. Se a luz é um movimento de onda que se propaga num éter mecânico governado pelas leis de Newton, então as observações celestes e os experimentos terrestres deveriam tornar-se potencialmente capazes de detectar seu fluxo através do éter. Das observações celestes, apenas aquelas da aberração da luz prometeram suficiente precisão para fornecer informação relevante. Assim, a detecção do curso da luz no éter por meio das mensurações da aberração tornou-se um problema de ciência normal. Um equipamento muito especializado foi fabricado para resolvê-lo. Tal equipamento, contudo, não detectou nenhum fluxo da luz no éter e o problema foi transferido dos experimentadores e observadores para os teóricos. Durante as décadas centrais do século dezanove, Fresnel, Stokes e outros maquinaram várias reformulações da teoria do éter que visavam à explicação do fracasso na observação do curso da luz no éter. Cada uma dessas articulações presumia que um corpo em movimento arrasta alguma fração do éter com ele. Cada uma delas era suficientemente bem sucedida para explicar os resultados negativos não só da observação celeste, mas também da

73 Max Jammer, *Concepts of Space: The History of Space in Physics* (Cambridge, Mass., 1954), pp. 114-24.

experimentação terrestre – incluindo o famoso experimento de Michelson e Morley.⁷⁴ Ainda não havia qualquer conflito, exceto entre as várias articulações. Como faltassem técnicas experimentais relevantes, tal conflito nunca chegou a ser agudo.

A situação teve nova mudança apenas com a aceitação progressiva da teoria eletromagnética de Maxwell nas duas últimas décadas do século dezenove. O próprio Maxwell era um newtoniano que acreditava que a luz e o eletromagnetismo em geral deviam-se ao deslocamento variável de partículas de um éter mecânico. Suas primeiras versões de uma teoria da eletricidade e do magnetismo fizeram uso direto das propriedades hipotéticas com que ele dotou esse ambiente. Tais propriedades foram eliminadas da sua versão final, mas Maxwell ainda acreditava que sua teoria eletromagnética fosse compatível com alguma articulação da concepção mecânica newtoniana.⁷⁵ Desenvolver uma formulação adequada foi um desafio para ele e para seus sucessores. Na prática, contudo – como tem repetidamente acontecido no desenvolvimento científico –, a requerida articulação da teoria mostrou-se imensamente difícil de produzir. Assim como a hipótese astronômica de Copérnico – apesar do otimismo de seu autor – criou uma crise crescente para as teorias do movimento que existiam na época, também a teoria de Maxwell – apesar da sua origem newtoniana – acabou produzindo uma crise para o paradigma de que brotou.⁷⁶ Ademais, a área em que essa crise se tornou mais aguda foi proporcionada pelos problemas que acabamos de considerar, ou seja, pelos problemas do movimento com relação ao éter.

A discussão de Maxwell sobre o comportamento dos corpos em movimento não fizera qualquer alusão ao arrasto do éter. Isso mostrou a enorme dificuldade de inserir tal arrasto em sua teoria. Como resultado, toda uma série de observações anteriores destinadas a detectar o fluxo da luz através do éter tornou-se anômala. Por isso, os anos que transcorreram após 1890 testemunharam uma longa série de tentativas – experimentais e teóricas – de detectar o movimento da luz em sua relação com o éter, e de integrar na teoria o arrasto no éter. As tentativas de detectar o movimento no éter foram uniformemente mal sucedidas, ainda que alguns analistas considerassem seus resultados equívocos ou inconclusivos. O esforço

74 Joseph Larmor, *Aether and Matter ... Including a Discussion of the Influence of the Earth's Motion on Optical Phenomena* (Cambridge, 1900), pp. 6-20, 320-22.

75 R. T. Glazebrook, *James Clerk Maxwell and Modern Physics* (London, 1896), cap. ix. Para a atitude final de Maxwell ver seu próprio livro, *A Treatise on Electricity and Magnetism* (3d. ed.; Oxford, 1892), p. 470.

76 Para o papel da astronomia no desenvolvimento da mecânica, ver Kuhn, *op. cit.*, cap. vii.

para integrar o arrasto no éter à teoria de Maxwell produziram várias iniciativas promissoras – particularmente as de Lorentz e Fitzgerald – que, todavia, acabaram por revelar outras charadas, resultando finalmente naquela proliferação de teorias concorrentes que já mostramos que acompanham as crises.⁷⁷ Foi confrontando-se com essa conjuntura histórica que a teoria especial da relatividade de Einstein emergiu em 1905.

Esses três exemplos são quase perfeitamente típicos. Em cada caso, uma nova teoria só emergiu depois de um clamoroso fracasso na atividade normal de resolução de problemas. Além disso, excetuando-se o caso de Copérnico em que fatores externos à ciência exerceram um papel particularmente relevante, esse colapso na atividade normal de resolução de problemas – e a proliferação de teorias, que é o seu sintoma – ocorreu não mais que uma ou duas décadas antes da enunciação da nova teoria que venceria a concorrência revolucionária. A nova teoria vencedora parece uma resposta direta à crise. Embora isso possa não parecer tão típico, notemos também que os problemas que fizeram a atividade normal colapsar eram todos de um tipo há muito reconhecido. A prática anterior da ciência normal fornecera todas as razões para que fossem considerados resolvidos, ou quase resolvidos. Isso ajuda a explicar por que o sentimento de fracasso pôde ser tão agudo quando chegou. Falhar com um novo tipo de problema é em geral desapontador, mas nunca surpreendente. Problemas e charadas não se entregam ao primeiro ataque. Finalmente, esses exemplos compartilham uma outra característica que pode tornar impressionante o exame do papel da crise: pelo menos parcialmente, a solução de cada um deles foi antecipada durante o período em que não havia qualquer crise na ciência correspondente. E na falta de crise, tais antecipações foram ignoradas.

A única antecipação completa é também a mais famosa. Refiro-me à antecipação do heliocentrismo de Copérnico por Aristarco no século III a.C. Geralmente se diz que se a ciência grega fosse menos dedutiva e menos dominada pelo dogma, a astronomia heliocêntrica poderia ter começado seu desenvolvimento dezoito séculos mais cedo do que o fez.⁷⁸ Mas isso seria ignorar todo o contexto histórico. Quando a sugestão de Aristarco foi feita, o sistema geocêntrico – imensamente mais razoável naquele momento –

⁷⁷ Whittaker, *op. cit.*, I, 386-410; e II (London, 1953), pp. 27-40.

⁷⁸ Para o trabalho de Aristarco, ver T. L. Heath, *Aristarchus of Samos: The Ancient Copernicus* (Oxford, 1913), parte II. Para uma exposição extremista da posição tradicional sobre a negligência do feito de Aristarco, ver Arthur Koestler, *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe* (London, 1959).

não apresentava nenhuma necessidade que só um sistema heliocêntrico pudesse satisfazer, mesmo conceitualmente. Todo o desenvolvimento da astronomia ptolomaica – incluindo seus triunfos e seu colapso – situa-se nos séculos que se seguiram à proposta de Aristarco. Até mesmo a proposta heliocêntrica mais elaborada de Copérnico não era nem mais simples nem mais precisa que a de Ptolomeu. Como veremos mais claramente abaixo, os testes observacionais disponíveis não ofereciam qualquer base para uma escolha entre elas. Nessas circunstâncias, um dos fatores que levaram os astrônomos ao copernicanismo – um fator que não poderia tê-los levado ao heliocentrismo de Aristarco – foi a reconhecida crise que respondeu, em primeiro lugar, pela inovação. A astronomia ptolomaica tinha fracassado na resolução de seus problemas. Chegara o tempo de dar uma chance a um competidor. Nossos outros dois exemplos não apresentam antecipações similares tão completas. Mas, seguramente uma das razões por que as teorias da combustão por absorção da atmosfera – teorias desenvolvidas no século dezessete por Rey, Hooke e Mayow – fracassaram em obter audiência suficiente, foi não terem feito nenhum contato com algum foco reconhecido de dificuldade na prática da ciência normal.⁷⁹ A longa negligência aos críticos relativistas de Newton pelos cientistas dos séculos dezoito e dezenove também foi devida em larga medida ao fracasso de um contato similar.

Os filósofos da ciência têm demonstrado repetidamente que mais de uma construção teórica sempre pode ser acoplada a uma determinada coleção de dados. A história da ciência indica que nem chega a ser difícil inventar tais alternativas, particularmente nos estágios iniciais de desenvolvimento de um novo paradigma. Mas a invenção de alternativas é exatamente o que os cientistas raramente fazem, exceto durante o estágio pré-paradigma do desenvolvimento de suas ciências e em ocasiões muito especiais de sua evolução subsequente. Na medida em que as ferramentas que o paradigma oferece continuam a se mostrar capazes de resolver os problemas que o próprio paradigma define, a ciência se move mais rapidamente e penetra mais profundamente com o emprego confiante desse paradigma. A razão disso é clara. Na indústria como na ciência, a substituição das ferramentas é uma extravagância a ser reservada apenas para uma ocasião que vier a demandá-la. O significado das crises é a indicação que elas fornecem de que uma ocasião para a substituição das ferramentas chegou.

79 Partington, *op. cit.*, pp. 78-85.

VIII. A Resposta à Crise

Vamos presumir que as crises sejam uma precondição necessária para a emergência de teorias inovadoras e, em seguida, perguntar como os cientistas respondem à sua existência. Parte da resposta – tão óbvia quanto importante – pode ser descoberta quando observamos aquilo que os cientistas *nunca* fazem quando confrontados com anomalias que podem ser até mesmo severas e prolongadas. Embora eles possam começar a perder a fé – e, por consequência, começar a considerar alternativas – eles não renunciam ao paradigma que os levou à crise. Isto é, eles não tratam as anomalias como contraexemplos, embora no vocabulário da filosofia da ciência seja exatamente isso que elas são. Em parte, essa generalização é simplesmente o enunciado de um fato histórico baseado em exemplos como os dados acima e, ainda mais extensivamente, abaixo. Esses exemplos já insinuam aquilo que o exame da rejeição do paradigma, que faremos mais tarde, vai revelar mais completamente. Isto é, uma teoria científica, uma vez atingido o *status* de paradigma, só é declarada inválida se uma candidata alternativa já estiver disponível para ocupar o seu lugar. Nenhum processo explicitado até agora pelo estudo histórico do desenvolvimento científico chega a se assemelhar ao estereótipo metodológico da falsificação pela comparação direta com a natureza. Essa observação não significa que os cientistas não rejeitem teorias científicas, ou que a experiência e o experimento não sejam essenciais para o processo em que eles agem dessa maneira. Mas essa observação significa – o que no fim das contas vai ser um ponto fundamental – que o ato de ajuizar que leva os cientistas a rejeitar uma teoria previamente aceita será sempre baseado em muito mais do que uma comparação da teoria com o mundo. A decisão de rejeitar um paradigma é sempre, ao mesmo tempo, a decisão de aceitar um outro paradigma. O ajuizamento que leva a tal decisão envolve a comparação de ambos os paradigmas com a natureza, e também a comparação de ambos os paradigmas entre si. Em acréscimo, há uma segunda razão para duvidar que cientistas rejeitem paradigmas porque são confrontados por anomalias ou contraexemplos. Ao desenvolver essa segunda razão, meu argumento vai prefigurar uma outra das principais teses desse ensaio. As razões para dúvida esboçadas acima foram puramente fatuais. Ou seja, elas foram contraexemplos de uma teoria epistemológica que prevalece. Assim, se minha presente posição está correta, elas podem no

máximo ajudar a criar uma crise ou, mais precisamente, a reforçar uma crise que em grande medida já existe. Elas não podem, por si mesmas, falsificar essa teoria filosófica porque seus defensores farão exatamente aquilo que já vimos os cientistas fazer quando são confrontados pela anomalia. Eles vão elaborar numerosas articulações e modificações *ad hoc* para a sua teoria, no intento de eliminar qualquer conflito aparente. De fato, muitas dessas modificações e qualificações relevantes já estão presentes na literatura. Se, portanto, esses contraexemplos epistemológicos devem constituir algo mais que um irritante secundário, será porque eles estarão contribuindo para tornar permissível a emergência de uma análise nova e diferente da ciência, dentro da qual eles já não serão mais uma fonte de dificuldade. Ademais, se um padrão típico – que observaremos mais tarde nas revoluções científicas – é aplicável aqui, então essas anomalias simplesmente já não mais parecerão fatos. De dentro de uma nova teoria do conhecimento, em vez disso, elas podem parecer muitíssimo com tautologias. Isto é, podem parecer muitíssimo com enunciados de situações que não se conseguiria conceber que pudessem ter sido de outra forma.

Ainda que tenha tomado séculos de difícil pesquisa fatural e teórica para ser articulada, já foi frequentemente observado, por exemplo, que a segunda lei do movimento de Newton se comporta em grande medida como um enunciado puramente lógico, que nenhuma quantidade de observação poderia refutar – pelo menos para aqueles que praticam ciência no marco da teoria newtoniana.⁸⁰ Na Seção X veremos que a lei química das proporções fixas – que antes de Dalton era um achado experimental ocasional de generalidade muito duvidosa – tornou-se depois do trabalho de Dalton um ingrediente de uma definição de composto químico que nenhum trabalho experimental poderia, por si mesmo, perturbar. Algo muito parecido com isso vai acontecer com a generalização de que os cientistas não conseguem rejeitar paradigmas quando se deparam com anomalias ou contraexemplos.

Embora seja pouco provável que a história tenha registrado seus nomes, sem dúvida algumas pessoas foram compelidas a desertar da ciência por causa da sua inabilidade em tolerar crises. Como os artistas, os cientistas criativos devem ocasionalmente ser capazes de viver em um mundo fora dos eixos. Em outro lugar cheguei a descrever essa necessidade como “a tensão essencial”

⁸⁰ Ver particularmente a discussão de N. R. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), pp. 99-105.

implícita na investigação científica.⁸¹ Mas a rejeição da ciência em favor de uma outra ocupação é, penso, o único tipo de rejeição de paradigma a que os contraexemplos podem levar por si mesmos. Uma vez encontrado um primeiro paradigma que nos ofereça o meio para investigar a natureza e já não poderá mais haver pesquisa feita na ausência de um paradigma qualquer. Rejeitar um paradigma sem simultaneamente substituí-lo por um outro é rejeitar a própria ciência. Tal ato volta-se contra a pessoa e não contra o paradigma. Inevitavelmente essa pessoa será vista pelos colegas como “o carpinteiro que põe a culpa em suas ferramentas”.

O mesmo tópico pode ser apresentado ao reverso, mas com não menos efetividade: não pode haver uma coisa tal como pesquisa sem contraexemplos. O que é mesmo que diferencia a ciência normal da ciência em estado de crise? Certamente não é porque a ciência normal não se confronta com contraexemplos. Pelo contrário, aquilo que anteriormente denominamos as charadas que constituem a ciência normal só existem porque nenhum paradigma que fornece a base para a pesquisa científica chega a resolver completamente todos os seus problemas. Os pouquíssimos paradigmas que aparentemente chegaram a fazer isso – por exemplo, a ótica geométrica – cessaram rapidamente de produzir qualquer problema de pesquisa tornando-se, em vez disso, ferramentas para engenharia. Excetuando aqueles que dizem respeito apenas aos instrumentos de investigação, todo problema que a ciência normal vê como uma charada também pode ser visto, de um outro ponto de vista, como um contraexemplo e, desse modo, como uma fonte de crise. Copérnico viu como contraexemplos aquilo que a maioria dos outros sucessores de Ptolomeu tinha visto como charada na compatibilização da observação com a teoria. Lavoisier viu como contraexemplo aquilo que Priestley vira como uma charada de resolução bem sucedida na articulação da teoria do flogisto. Einstein viu como contraexemplo aquilo que Lorentz, Fitzgerald e outros tinham visto como charadas na articulação das teorias de Newton e de Maxwell. Ademais, mesmo a existência de crise não transforma, por si mesma, uma charada num contraexemplo. Não há uma tal linha divisória nítida. Em vez disso – ao proliferar as versões do paradigma –, a crise flexibiliza as regras da resolução normal de charadas em sentidos que, em última instância, permitirão que um novo paradigma emergja. Penso que haja

81 T. S. Kuhn, “The Essential Tension: Tradition and Innovation in Scientific Research”, in *The Third (1959) University of Utah Research Conference on the Identification of Creative Scientific Talent*, ed. Calvin W. Taylor (Salt Lake City, 1959), pp. 162-77. Para um fenômeno comparável entre os artistas, ver Frank Barron, “The Psychology of Imagination”, *Scientific American*, CXCIX (September, 1958), 151-66, esp. 160.

somente duas alternativas: ou nenhuma teoria científica chega a confrontar um contraexemplo, ou todas as teorias científicas confrontam contraexemplos a todo momento.

Como pode a situação ter-se mostrado de maneira diferente? Essa questão necessariamente leva à elucidação histórica e crítica da filosofia, mas esses tópicos estão barrados aqui. Nós podemos, contudo, pelo menos apontar duas razões pelas quais a ciência pareceu fornecer uma ilustração tão apropriada da generalização que afirma que verdade e falsidade são única e inequivocamente determinadas pela confrontação do enunciado com o fato. A ciência normal empenha-se – e deve empenhar-se continuamente – em levar a teoria e o fato a um acordo cada vez mais estreito. Assim, essa atividade pode ser vista facilmente como teste ou como busca de confirmação ou de falsificação. Apesar disso, o objetivo da ciência normal é resolver charadas para cuja existência mesma a validade do paradigma deve ser presumida. Um fracasso na obtenção de uma solução desacredita apenas o cientista, não a teoria. Aqui, ainda mais que acima, se aplica o provérbio que afirma que “*quem põe a culpa nas ferramentas é um pobre carpinteiro*”. Ademais, a maneira como a pedagogia da ciência enreda a discussão de uma teoria em observações sobre suas aplicações exemplares tem ajudado a reforçar uma teoria da confirmação extraída predominantemente de outras fontes. Dada a mais ínfima razão para assim fazer, a pessoa que lê um texto científico pode facilmente considerar que as aplicações sejam evidências da teoria, isto é, razões pelas quais a teoria deveria ser acreditada. Mas os estudantes de ciência aceitam as teorias com base na autoridade do professor e com base na autoridade do texto, não por causa de evidência. Que alternativas eles teriam? Ou que competência? As aplicações apresentadas nos livros didáticos não estão lá por serem evidências, mas porque aprendê-las é parte da aprendizagem do paradigma que está na base da prática científica corrente. Se as aplicações fossem expostas como evidência, então a própria negligência dos manuais em sugerir interpretações alternativas – ou discutir problemas para os quais os cientistas fracassaram na produção de soluções paradigmáticas – acusaria seus autores de extrema parcialidade. Mas não há a menor razão para tal indiciamento.

Como então, para retornar à questão inicial, os cientistas respondem à consciência de uma anomalia no acordo entre a teoria e a natureza? O que acabou de ser dito indica que mesmo uma discrepância desproporcionalmente maior que a experimentada em outras aplicações da teoria não precisa requerer uma resposta muito

profunda, qualquer que seja ela. Sempre há algumas discrepâncias. Mesmo as discrepâncias mais obstinadas acabam, em geral, respondendo à prática científica normal. Muito frequentemente os cientistas dispõem-se a esperar, particularmente se há muitos problemas disponíveis em outras partes de seu campo. Já observamos, por exemplo, que durante os sessenta anos posteriores ao cálculo original de Newton, o movimento previsto do perigeu da Lua permaneceu só a metade daquilo que a observação media. Enquanto os melhores físicos matemáticos da Europa mantiveram-se numa luta mal sucedida com essa discrepância bem conhecida, apareceram propostas ocasionais para modificar a lei newtoniana do quadrado inverso. Mas ninguém levou muito a sério tais propostas e, na prática, a paciência com essa anomalia relevante comprovou-se justificada. Em 1750, Clairaut foi capaz de mostrar que somente a matemática da aplicação estava errada e que a teoria de Newton poderia permanecer como antes.⁸² Mesmo nos casos em que sequer um mero erro pareceria possível,⁸³ uma anomalia persistente e reconhecida nem sempre induz à crise. Ninguém questionou seriamente a teoria newtoniana por causa das discrepâncias – por longo tempo reconhecidas – entre as predições da teoria e a velocidade do som, e entre as predições da teoria e o movimento de Mercúrio. A primeira discrepância foi por fim e inesperadamente resolvida através de experimentos sobre o calor realizados com um propósito muito diferente. A segunda desvaneceu-se com a teoria geral da relatividade, depois de uma crise em cuja criação ela não teve papel algum.⁸⁴ Aparentemente nenhuma delas pareceu suficientemente fundamental para desencadear a inquietação que acompanha uma crise. Poderiam ter sido reconhecidas como contraexemplos, e ainda assim ser postas de lado para trabalho posterior.

Disso se segue que, quando é para uma anomalia desencadear uma crise, em geral ela deve ser bem mais que uma simples anomalia. Em algum ponto sempre vai haver dificuldades no ajuste paradigma-natureza. A maioria dessas dificuldades é superada mais cedo ou mais tarde. Com frequência isso ocorre através de processos que nem poderiam ter sido previstos. O cientista que parasse para examinar toda anomalia que encontrasse, raramente conseguiria fazer

82 W. Wheewel, *History of the Inductive Sciences* (rev. ed.; London, 1847), II, pp. 220-1.

83 Talvez porque a matemática envolvida é mais simples ou de um tipo que já se tornou familiar em algum outro campo.

84 Para a velocidade do som ver T. S. Kuhn, "The Caloric Theory of Adiabatic Compression", *Isis*, XLIV (1958), pp. 136-37. Para a mudança secular no periélio de Mercúrio, ver E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Æther and Electricity*, II (London, 1953), p.p. 151, 179.

algum trabalho significativo. Portanto, temos que perguntar o que faz uma anomalia parecer digna de investigação conjunta por parte dos cientistas. Para essa pergunta, no entanto, provavelmente não haja uma resposta que valha para todos os casos. Os casos que examinamos são característicos, mas dificilmente poderiam ser considerados prescritivos. Às vezes uma anomalia porá em questão generalizações explícitas e fundamentais do paradigma, como foi o caso do problema do arrasto no éter para aqueles que aceitaram a teoria de Maxwell. Ou então, como no caso da revolução copernicana, uma anomalia sem importância científica fundamental pode desencadear uma crise quando as aplicações que ela frustra têm uma importância prática especial. Nesse caso, a anomalia tinha importância prática para a projeção do calendário e para a astrologia. Ou ainda, como na química do século dezoito, o desenvolvimento da ciência normal pode transformar uma anomalia que anteriormente não fora mais que uma preocupação secundária em uma fonte de crise. Refiro-me ao problema das relações de peso, que adquiriu um *status* muito diferente depois da evolução das técnicas da química pneumática. Podemos presumir que ainda haja outras circunstâncias que podem tornar particularmente premente uma anomalia, e várias dessas circunstâncias poderão combinar-se. Já notamos, por exemplo, que uma fonte da crise enfrentada por Copérnico foi a simples extensão – prolongada – do período de tempo durante o qual os astrônomos empenharam-se sem sucesso na redução das discrepâncias residuais do sistema de Ptolomeu.

Quando, por essas razões e outras como elas, uma anomalia deixa de parecer apenas mais uma charada da ciência normal, já teve início a transição para a crise e para a ciência extraordinária. Nesse momento, a própria anomalia já é reconhecida enquanto tal pela profissão. Cada vez mais atenção lhe é devotada por um número cada vez maior dentre as mais eminentes pessoas do campo em que ela aparece. Se a anomalia continua a resistir – o que não é usual –, muitas delas chegam a ver sua resolução como o objeto de sua disciplina. Para tais cientistas o campo de investigação já não vai mais se assemelhar exatamente àquilo que era anteriormente. Em parte, sua aparência diferente resulta basicamente do novo ponto em que se fixa a investigação científica. Uma fonte ainda mais importante de mudança está na natureza divergente das numerosas soluções parciais que a concatenação das atenções sobre o problema disponibiliza. Os primeiros ataques ao problema resistente certamente terá seguido as regras do paradigma muito de perto. Mas com a continuação da resistência, um número cada vez maior dos

ataques ao problema terá envolvido alguma articulação menor – ou não tão menor – do paradigma. Nenhuma delas será muito parecida com a outra. Cada uma delas poderá ter sucesso parcial, mas nenhuma delas terá sucesso suficiente para ser aceita como paradigma pelo grupo. Através dessa proliferação de articulações divergentes – cada vez mais elas serão descritas como ajustes *ad hoc* – as regras da ciência normal tornam-se crescentemente desfocadas. Embora ainda haja um paradigma, poucos cientistas mostram-se claramente concordes a respeito do que ele seja. Mesmo soluções de problemas resolvidos anteriormente – soluções que eram tomadas como padrão – são postas em questão.

Quando se torna aguda, essa situação chega a ser, por vezes, reconhecida pelos cientistas envolvidos. Copérnico reclamava que em sua época os astrônomos eram tão *“inconsistentes em suas investigações astronômicas ... que eles não conseguem explicar ou observar nem mesmo a periodicidade anual. Com eles – ele continuava – acontece como quando um artista reúne mãos, pés, cabeça e outros membros a partir de diversos modelos para compor suas imagens. Cada parte está excelentemente desenhada, mas elas não se combinam na unidade de um corpo. E uma vez que essas partes não se ajustam umas às outras, o resultado só pode ser um monstro e não um homem”*.⁸⁵ Inibido pelo uso corrente de uma linguagem menos florida, Einstein só escreveu que *“Foi como se o chão tivesse sumido debaixo dos pés, não se podendo ver em lugar algum uma base sólida sobre a qual construir”*.⁸⁶ E Wolfgang Pauli – nos meses que antecederam o artigo de Heisenberg sobre mecânica matricial que apontou o caminho para uma nova mecânica quântica – escreveu para um amigo que *“No momento a física se encontra de novo em terrível confusão. De qualquer modo, tem sido muito difícil para mim. Desejaria ter sido um comediante de cinema ou algo assim, sem nunca ter ouvido falar de física”*. Esse testemunho é particularmente impressionante quando contrastado com as palavras do mesmo Pauli menos de cinco meses depois. *“O tipo de mecânica de Heisenberg deu-me novamente esperança e alegria de viver. É certo que ele não oferece uma solução para o enigma, mas eu acredito ser possível marchar para a frente de novo”*.⁸⁷

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

86 Albert Einstein, “Autobiographical Note”, em *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, ed. P. A. Schilpp (Evanston, Ill., 1949), p. 45.

87 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 (New York, 1960), pp. 22, 25-6. Boa parte desse artigo descreve a crise na mecânica quântica durante os anos imediatamente anteriores a 1925.

Reconhecimentos explícitos de falência como essas são extremamente raros. Todavia, os efeitos de uma crise não dependem inteiramente de seu reconhecimento consciente. O que podemos dizer sobre o que são esses efeitos? Só dois deles parecem ser universais. Todas as crises começam com o paradigma se tornando cada vez mais vago e, em virtude disso, desenvolvendo um consequente afrouxamento das regras da ciência normal. Isto posto, a pesquisa realizada durante a crise se parece muito com a pesquisa do período pré-paradigma, ainda que o seu foco de investigação seja menor e mais claramente definido. Acrescentemos que todas as crises encerram-se em um dos três modos seguintes. Às vezes a ciência normal acaba por se mostrar capaz de lidar com o problema provocador da crise, a despeito do desespero daqueles que o viram como o fim do paradigma existente. Em outras ocasiões, o problema resiste mesmo com abordagens novas e aparentemente radicais. Então, os cientistas concluem que não terão solução à vista no presente estado de seu campo. O problema é etiquetado e posto de lado para uma geração futura que disponha de ferramentas mais desenvolvidas. Ou, finalmente – e esse é o caso que mais nos interessa aqui –, a crise pode desembocar no desenvolvimento de novos candidatos a paradigma e na batalha que se segue em prol da aceitação de um deles por toda a comunidade científica. Esse último modo de encerramento de uma crise vai ser considerado extensivamente nas últimas seções desse ensaio, mas devemos antecipar um aperitivo do que diremos nelas para completar essas notas sobre a evolução e a anatomia do estado de crise.

A transição de um paradigma em crise para um novo paradigma a partir do qual possa emergir uma nova tradição de ciência normal está longe de ser um processo cumulativo. Ou seja, está longe de ser um processo realizado pela articulação ou extensão do velho paradigma. Trata-se de uma reconstrução do campo a partir de uma nova fundamentação. Uma reconstrução que muda algumas das generalizações teóricas mais elementares do campo científico, assim como muitos de seus métodos e aplicações paradigmáticos. Durante o período de transição haverá uma intersecção grande – mas nunca completa – entre os problemas que podem ser resolvidos pelo velho paradigma e os problemas que podem ser resolvidos pelo novo paradigma. Mas haverá também uma diferença decisiva na maneira de solucionar os problemas. Quando a transição se completa, a profissão terá mudado a concepção de seu campo científico, seus métodos e seus objetivos. Um historiador atento, examinando um caso clássico de reorientação de uma ciência por mudança

paradigmática, descreveu-o como “*segurar a outra ponta do bastão*”, ou seja, um processo que envolve “*manipular o mesmo agregado de dados que antes mas – por lhe dar um marco estrutural diferente –, situando-o em um novo sistema de relações mútuas*”.⁸⁸ Outros que também notaram esse aspecto do avanço científico enfatizaram sua similaridade com uma conversão na configuração visual [*Gestalt-switch*]. Os riscos no papel que antes eram vistos como um pássaro, agora são vistos como um antílope, e vice-versa.⁸⁹ Todavia, esse paralelo pode nos iludir. Os cientistas não veem algo como algo diferente. Eles apenas veem algo. Já examinamos alguns dos problemas que são criados quando se diz que Priestley viu oxigênio como ar desflogistizado. Ademais, o cientista não preserva a liberdade subjetiva de figurar visualmente para alternar entre a frente e o verso das maneiras de ver. Não obstante, a alternância entre figurações visuais – particularmente porque isso é tão familiar hoje em dia – é um protótipo elementar útil para o que ocorre em uma transformação paradigmática em larga escala.

O adiantamento que acabamos de fazer pode nos ajudar a reconhecer a crise como um prelúdio plausível para a emergência de novas teorias. Particularmente por já termos examinado a versão em pequena escala do mesmo processo quando discutimos a emergência das descobertas científicas. Precisamente porque a emergência de uma nova teoria rompe com uma tradição de prática científica e introduz uma nova tradição – conduzida sob regras diferentes e dentro de um universo discursivo diferente – é de se imaginar que isso ocorra somente quando a tradição científica mais antiga é sentida como tendo se desestruturado severamente. Essa nota, entretanto, não é mais que a preliminar de uma investigação do estado de crise. As questões a que ela conduz, desafortunadamente, exigem muito mais a competência do psicólogo que a competência do historiador. Como é a pesquisa extraordinária? Como os cientistas procedem quando tomam consciência de que algo deu errado num nível tão fundamental que o seu treinamento não os equipou para lidar com a situação? Tais questões requerem muito mais investigação, e essa investigação não deveria ser exclusivamente histórica. O que se segue vai ser muito mais conjectural e menos completo do que aquilo que expusemos antes.

Pelo menos em embrião, geralmente um novo paradigma emerge antes que uma crise se tenha desenvolvido o bastante ou sido explicitamente reconhecida. O trabalho de Lavoisier fornece um caso

88 Herbert Butterfield, *The Origins of Modern Science, 1300-1800* (London, 1949), pp. 1-7.

89 Hanson, *op. cit.*, cap. i.

assim. Sua nota selada foi depositada na Academia Francesa menos de um ano depois do primeiro estudo exaustivo das relações de peso na teoria do flogisto, e antes que as publicações de Priestley tivessem revelado toda a extensão da crise na química pneumática. E ainda: as primeiras formulações que Thomas Young fez da teoria ondulatória da luz apareceram num estágio muito inicial de uma crise em desenvolvimento na ótica. Essa crise passaria quase despercebida a não ser pelo fato – que não teve qualquer participação de Young – de que ela se transformou num escândalo científico internacional uma década após os seus primeiros escritos. Em casos como esse pode-se dizer que uma perturbação menor do paradigma e o estágio mais inicial do relaxamento das regras da ciência normal foram suficientes para induzir em alguém uma nova maneira de olhar o seu campo científico. Muito daquilo que se interpôs entre a primeira percepção da encrenca e o reconhecimento de uma alternativa deve ter sido em grande medida inconsciente.

Em outros casos, entretanto – como os casos de Copérnico, de Einstein e da teoria nuclear contemporânea, por exemplo –, um tempo considerável transcorre entre a primeira consciência de desarranjo e a emergência de um novo paradigma. Quando isso ocorre, o historiador pelo menos pode captar algumas indicações de como é a ciência extraordinária. Defrontado com uma anomalia que, em teoria, é supostamente fundamental, geralmente o primeiro esforço do cientista vai ser individualizá-la com maior precisão e lhe dar uma estrutura. Ainda que agora esteja consciente de que elas possam não se mostrar as mais adequadas, o cientista vai pressionar as regras da ciência normal com mais determinação que nunca para, na área da dificuldade, ver com precisão onde e até que ponto pode fazê-las funcionar. Simultaneamente, o cientista vai procurar maneiras de amplificar a área colapsada, torná-la mais nítida e, talvez, também mais sugestiva do que foi quando mostrada nos experimentos cujos resultados pensava-se conhecer antecipadamente. Por fim, no derradeiro esforço – mais do que em qualquer outra parte do desenvolvimento pós-paradigma da ciência – ele ficará muito parecido com a imagem mais usual que temos do cientista. Em primeiro lugar, com frequência ele vai parecer uma pessoa que procura aleatoriamente, tentando diferentes experimentos só para ver o que acontece, e procurando por algum efeito cuja natureza ele não pode estimar. Ao mesmo tempo – já que nenhum experimento pode ser concebido sem algum tipo de teoria –, o cientista em crise vai constantemente tentar produzir teorias especulativas que, se bem

sucedidas, podem abrir caminho para um novo paradigma e, se mal sucedidas, podem ser descartadas com relativa tranquilidade.

A exposição feita por Kepler de sua prolongada batalha com o movimento de Marte e a resposta de Priestley sobre a proliferação de novos gases fornecem exemplos clássicos do tipo de pesquisa mais aleatória produzida pela consciência da anomalia.⁹⁰ Mas provavelmente as melhores ilustrações entre todas vêm da pesquisa contemporânea na teoria do campo e sobre partículas fundamentais. O imenso esforço exigido para detectar o neutrino pareceria justificado se não fosse uma crise que tornou necessário ver até que ponto as regras da ciência normal poderiam ser esticadas? Se as regras não tivessem sido tão obviamente quebradas em algum ponto não revelado, teria a hipótese radical da não conservação da paridade sido sequer sugerida ou testada? Esses experimentos foram em parte tentativas de localizar e definir a fonte de um conjunto ainda difuso de anomalias, do mesmo modo que muitas outras pesquisas da física durante a década passada,.

Esse tipo de pesquisa extraordinária geralmente é acompanhado por outro, ainda que nem sempre isso ocorra. Penso ser nos períodos em que a crise já foi reconhecida que os cientistas voltam-se para a análise filosófica como um dispositivo para decifrar os enigmas do seu campo. Normalmente os cientistas não precisariam ou desejariam ser filósofos. Com efeito, a ciência normal habitualmente mantém a filosofia criativa a uma certa distância, provavelmente por boas razões. Na medida em que o trabalho de investigação normal pode ser conduzido com o uso do paradigma como modelo, regras e suposições não precisam ser explicitadas. Na Seção V falamos que todo o conjunto de regras procurado pela análise filosófica não precisa nem mesmo existir. Mas isso não quer dizer que a busca dos pressupostos – mesmo os que não existem – não possa ser um jeito eficaz de enfraquecer as garras da tradição cravadas na mente do cientista e sugerir as bases de uma nova tradição de pesquisa. Não é acidente que a emergência da física newtoniana no século dezessete e a emergência das mecânicas relativista e quântica no século vinte tivessem que ser precedidas e acompanhadas por análises filosóficas dos fundamentos da tradição de pesquisa então vigente.⁹¹ Nem é um acidente que nesses dois períodos

90 Para uma exposição do trabalho de Kepler sobre Marte, ver J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (2d. ed.; New York, 1953), pp. 380-93. Imprecisões ocasionais não impedem que a síntese de Dreyer ofereça o material que necessitamos aqui. Para Priestley, ver seu próprio trabalho, especialmente *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* (London, 1774-1775).

91 Para o contraponto filosófico que acompanhou a mecânica do século dezessete, ver René Dugas, *La mécanique au XVII^e siècle* (Neuchâtel, 1954), particularmente o cap.

o assim chamado experimento em pensamento tenha exercido um papel tão crítico no desenvolvimento da pesquisa. Como mostrei em outro lugar, a experimentação analítica em pensamento – que é tão proeminente nos escritos de Galileu, Einstein, Bohr e outros – é inteiramente calculada para expor o velho paradigma ao conhecimento existente, de modo a isolar a raiz da crise com uma clareza que não pode ser obtida no laboratório.⁹²

Com o desenvolvimento – isoladamente ou em conjunto – desses procedimentos extraordinários, pode ocorrer uma outra coisa. Ao concentrar a atenção científica sobre uma área problemática restrita, e ao preparar a mente científica para reconhecer anomalias experimentais pelo que elas são, a crise geralmente faz as descobertas proliferarem. Nós já observamos como a consciência da crise distingue o trabalho de Lavoisier sobre o oxigênio do trabalho de Priestley. Ademais, o oxigênio não foi o único gás que os químicos conscientes da crise foram capazes de descobrir no trabalho de Priestley. E também: novas descobertas da ótica acumularam-se rapidamente pouco antes e durante a emergência da teoria ondulatória da luz. Algumas dessas descobertas, como a polarização por reflexo, foram o resultado de acidentes que o trabalho concentrado numa área encrocada torna prováveis.⁹³ Outras descobertas – como o foco de luz no centro da sombra de um disco circular – foram previsões feitas a partir da nova hipótese. O sucesso dessas previsões ajudou a transformar a nova hipótese em um paradigma a ser daí por diante elaborado. Ainda podemos indicar outras descobertas – como as cores de ranhuras e de placas grossas – que eram efeitos que antes já eram vistos com frequência e às vezes eram registrados, mas que, como o oxigênio de Priestley, foram assimilados a outros efeitos já bem conhecidos de maneiras que impediram que fossem vistos pelo que eram.⁹⁴ Um relato similar poderia ser feito das múltiplas descobertas que foram uma concomitante permanente da emergência da mecânica quântica desde cerca de 1895. A pesquisa extraordinária ainda deve ter outras manifestações e efeitos, mas nessa área nós mal começamos a

xi. Para o episódio similar do século dezenove, ver o livro anterior do mesmo autor, *Histoire de la mécanique* (Neuchâtel, 1950), pp. 419-43.

92 T. S. Kuhn, “A Function for Thought Experiments”, in *Mélanges Alexandre Koyré*, ed. R. Taton e I. B. Cohen, a ser publicado pela Hermann (Paris) em 1963.

93 Malus – o descobridor da polarização por reflexo – estava apenas começando o seu trabalho de preparação do ensaio para o prêmio da Academia sobre a refração dupla, um assunto amplamente reconhecido pelo seu estado insatisfatório.

94 Para as novas descobertas da ótica 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 Vision, Light and Colours* (London, 1772), pp. 498-520.

descobrir as questões que precisam ser feitas. Se bem que, talvez, nada mais seja necessário acrescentar nesse ponto. As observações precedentes deveriam ser suficientes para mostrar como a crise simultaneamente fragiliza os estereótipos e fornece os dados adicionais para uma mudança de paradigma a partir dos fundamentos. Às vezes a forma do novo paradigma é antecipada na estrutura que a pesquisa extraordinária deu à anomalia. Einstein escreveu que antes que ele tivesse um substituto para a mecânica clássica, já podia ver a inter-relação entre as anomalias conhecidas da radiação do corpo negro – o efeito fotoelétrico – e calores específicos.⁹⁵ Em geral, uma estrutura como essa não é conscientemente visualizada antes da hora. Em vez disso, o novo paradigma – ou uma proposta suficientemente desenvolvida dele para permitir articulação posterior – emerge todo de uma vez na mente de uma pessoa profundamente imersa na crise, às vezes no meio da noite. Qual a natureza desse estágio final – isto é, como um indivíduo inventa (ou acha que inventou) uma nova maneira de dar ordem aos dados, que agora já estão todos concatenados – deve permanecer inescrutável aqui, e isso pode ficar permanentemente assim. Aqui vamos considerar apenas uma coisa sobre esse estágio final. Quase sempre as pessoas que realizaram essas invenções fundamentais de um novo paradigma ou eram muito jovens, ou muito novas no campo cujo paradigma elas mudam.⁹⁶ Talvez esse ponto nem precise ser explicitado pois, obviamente, se trata de pessoas que, por estarem – em decorrência de sua prática anterior – pouco comprometidas com as regras tradicionais da ciência normal, são particularmente suscetíveis de ver que as regras da ciência normal já não definem um jogo que possa ser jogado e para conceber um novo conjunto de regras que possa substituí-las.

A transição que resulta em um novo paradigma é uma revolução científica, um assunto que finalmente estamos preparados para abordar diretamente. Primeiro notemos, contudo, um último e aparentemente enganador aspecto para o qual as últimas três seções prepararam o caminho. Até a Seção VI – em que o conceito de anomalia foi introduzido pela primeira vez –, os termos 'revolução' e

95 Einstein, *loc. cit.*

96 Essa generalização do papel da juventude na pesquisa científica fundamental é tão comum a ponto de se tornar um clichê. Como se não bastasse, uma olhadinha em quase toda lista de contribuições fundamentais à teoria científica vai fornecer uma confirmação impressionista. Não obstante, a generalização requer investigação sistemática em uma escala maior. Harvey C. Lehman (*Age and Achievement* [Princeton, 1953]) fornece muitos dados úteis. Mas seus estudos não procuram individualizar as contribuições que envolvem reconceitualização fundamental. Nem inquirir sobre as circunstâncias especiais – se é que há alguma – que podem acompanhar uma produtividade individual relativamente tardia nas ciências.

'ciência extraordinária' podem ter parecido equivalentes. O mais relevante é que nenhuma dessas duas expressões pareceu significar mais que 'ciência não normal', numa circularidade que certamente terá incomodado pelo menos alguns – imagino que poucos – leitores. Na prática, essa circularidade não precisaria ter feito isso. Estamos próximos de descobrir que uma circularidade semelhante é característica das teorias científicas. Incomodativa ou não, contudo, essa circularidade acabou sendo qualificada. A presente seção do ensaio e as duas seções precedentes destacaram numerosos critérios para a identificação de um colapso da atividade da ciência normal. Critérios que de modo algum dependem de que o colapso seja seguido de uma revolução. Quando confrontados com uma crise, os cientistas tomam uma atitude diferente para com os paradigmas existentes. E a natureza da sua pesquisa mudará correspondentemente. A proliferação de articulações concorrentes, a determinação de tentar qualquer coisa, a clara manifestação de descontentamento e o recurso à filosofia e ao debate sobre os fundamentos são todos sintomas de uma transição da ciência normal para a ciência extraordinária. A noção de ciência normal depende mais de todas essas coisas que da noção de revoluções.

IX. A Natureza e a Necessidade das Revoluções Científicas

As observações que acabamos de fazer nos permitem, por fim, considerar os problemas que dão título a esse ensaio. Que são as revoluções científicas e qual é a sua função no desenvolvimento científico? Boa parte da resposta dessas questões já foi antecipada nas seções anteriores. Em particular, a discussão precedente indicou que aqui são considerados revoluções aqueles episódios de desenvolvimento não cumulativo em que um paradigma velho é substituído, no todo ou em parte, por um paradigma novo e incompatível com ele. Entretanto, tem mais coisa a ser dita, e uma parte essencial disso pode ser introduzida quando fazemos a seguinte pergunta: por que uma mudança de paradigma deveria ser chamada de revolução? Tendo em vista as diferenças enormes e essenciais entre o desenvolvimento político e o desenvolvimento científico, que paralelismo pode justificar a metáfora que detecta revoluções em ambos?

Um aspecto desse paralelismo já deve estar aparente. As revoluções políticas são deflagradas pela crescente percepção – geralmente restrita a um segmento da comunidade política – de que as instituições existentes deixaram de apresentar saídas adequadas para os problemas postos por um contexto que elas mesmas ajudaram a criar. De maneira muito parecida, as revoluções científicas são deflagradas pela percepção crescente – aqui também restrita a um ínfimo subconjunto da comunidade científica – de que um paradigma existente deixou de funcionar adequadamente na exploração de um aspecto da natureza para o qual o próprio paradigma chegou a abrir o caminho. No desenvolvimento político e no desenvolvimento científico a sensação de disfunção que pode levar à crise é pré-requisito da revolução. Ademais, tal paralelismo – ainda que supostamente tensione a metáfora – não vale só para as grandes mudanças paradigmáticas, como aquelas atribuídas a Copérnico e Lavoisier, mas também vale para as mudanças de paradigma muito menores, associadas a um novo tipo de fenômeno, a exemplo do oxigênio e dos raios X. As revoluções científicas, como observamos no final da Seção V, devem parecer revolucionárias apenas para aqueles cujos paradigmas foram afetados por elas. Como no caso das revoluções balcânicas do início do século vinte, para quem está de fora as revoluções científicas podem parecer partes normais do processo de desenvolvimento. Os astrônomos, por exemplo, poderiam

aceitar os raios X como mera adição ao conhecimento, já que seus paradigmas não foram afetados pela existência da nova radiação. Mas para pessoas como Kelvin, Crookes e Roentgen – cuja pesquisa lidava com a teoria da radiação ou com os tubos de raios catódicos – a emergência dos raios X necessariamente violou um paradigma, ao mesmo tempo que criou um outro. Eis por que esses raios só poderiam ser descobertos quando algo começou a dar errado na ciência normal.

Esse aspecto genético do paralelismo entre o desenvolvimento político e o desenvolvimento científico já não deveria deixar mais dúvidas. Mas ainda tem um segundo aspecto desse paralelismo, e mais profundo, que depende do significado do primeiro aspecto. As revoluções políticas visam à mudança das instituições políticas por vias que essas próprias instituições políticas proíbem. Seu sucesso, portanto, requer o abandono parcial de um conjunto de instituições em favor de outro. Durante a transição, a sociedade não chega a ser plenamente governada através de instituições. De início, basta a crise para enfraquecer o papel das instituições políticas, do mesmo modo como já vimos a crise enfraquecer o papel dos paradigmas científicos. Um número cada vez maior de indivíduos torna-se crescentemente alienado da vida política, adotando um comportamento cada vez mais desviante dentro dela. Então, na medida em que a crise se aprofunda, muitos desses indivíduos aderem a alguma proposta concreta para a reconstrução da sociedade no marco de uma nova estrutura institucional. Nesse ponto, a sociedade já está dividida em campos ou partidos concorrentes. Um dos campos ou partidos procura defender a velha ordem institucional, enquanto os outros procuram instituir uma nova ordem institucional. E, já tendo ocorrido a polarização, *o recurso à política fracassa*. Em um conflito revolucionário os partidos devem, em última instância, recorrer às técnicas de persuasão de massas – com frequente inclusão do uso da força – porque eles diferem quanto à matriz institucional em que a mudança política deve ser realizada e avaliada, e porque eles não reconhecem nenhum marco suprainstitucional para a arbitragem da transformação revolucionária. Embora as revoluções tenham exercido um papel vital na evolução das instituições políticas, esse papel depende do fato delas serem parcialmente eventos extra-políticos e extrainstitucionais.

A parte restante desse ensaio visa a demonstrar que o estudo histórico da mudança paradigmática revela características muito parecidas na evolução das ciências. Do mesmo modo que a escolha entre instituições políticas concorrentes, a escolha entre paradigmas

concorrentes mostra-se uma escolha entre modos incompatíveis de vida comunitária. Por ter tal caráter, essa escolha não é e não pode ser meramente determinada pelos procedimentos de avaliação da ciência normal. Os procedimentos da ciência normal dependem de um paradigma em particular, e é precisamente esse paradigma que está em questão. Quando os paradigmas entram em um debate sobre paradigmas – como devem entrar mesmo, em um determinado momento – seu papel é necessariamente circular. Cada grupo usa seu próprio paradigma quando defende um paradigma.

É claro que a circularidade resultante não torna errados os argumentos, ou mesmo ineficazes. A pessoa que argumenta em defesa de um paradigma tendo esse mesmo paradigma por premissa pode, não obstante, oferecer uma exibição clara daquilo que será a prática científica para aqueles que vierem a adotar essa nova concepção da natureza. Tal exposição pode ser imensamente persuasiva. Em geral ela será poderosamente convincente. Ainda assim, qualquer que seja a sua força, o *status* do argumento circular é só o da persuasão. Ele não pode ser transformado em um argumento logicamente coercitivo, ou mesmo em um argumento probabilisticamente coercitivo para aqueles que se recusam a entrar no círculo. As premissas e valores compartilhados pelos dois partidos que estão debatendo sobre paradigmas não são suficientemente extensos para isso. Ocorre nas escolhas de paradigma o mesmo que nas revoluções políticas. Não há qualquer padrão que seja mais elevado que a aceitação pela comunidade correspondente. Para descobrir como as revoluções científicas se efetivam temos, portanto, que examinar não apenas o impacto da natureza e da lógica, mas também o impacto das técnicas de argumentação persuasiva que se mostram eficientes nos grupos muito especializados que constituem as comunidades de cientistas. Para descobrir por que essa questão da escolha de paradigma nunca pode ser inequivocamente resolvida somente pela lógica e pelo experimento, devemos examinar concisamente a natureza das diferenças que separam os defensores de um paradigma tradicional de seus sucessores revolucionários. Esse exame é o principal objeto da presente seção, e também da próxima. Entretanto, já observamos numerosos exemplos dessas diferenças. Ninguém duvidará que a história pode nos fornecer muitos outros. Aquilo que provavelmente será mais objeto de dúvida do que a sua própria existência – e, portanto, aquilo que deve ser considerado em primeiro lugar –, é se tais exemplos fornecem informação essencial sobre a natureza da ciência. Admitindo que a rejeição de um paradigma não fosse mais que um fato histórico, o que ela esclareceria além da credulidade e da

perplexidade humanas? Há razões intrínsecas para que tanto a assimilação de um novo tipo de fenômeno quanto a assimilação de uma nova teoria científica devam demandar a rejeição de um paradigma mais antigo?

Observemos já de início que se essas razões existem, elas não derivam da estrutura lógica do conhecimento científico. Em princípio, um novo fenômeno poderia emergir sem incidir destrutivamente sobre qualquer parte da prática científica passada. Embora a descoberta de vida na Lua fosse destrutiva para paradigmas hoje existentes – já que esses paradigmas nos dizem coisas sobre a Lua que parecem incompatíveis com a existência de vida ali –, descobrir vida em alguma parte menos conhecida da galáxia não seria. Do mesmo modo, uma nova teoria não teria necessariamente que conflitar com qualquer uma de suas predecessoras. Ela poderia tratar exclusivamente de fenômenos não conhecidos anteriormente. Assim como a teoria quântica, que passou a lidar com fenômenos subatômicos desconhecidos antes do século vinte.⁹⁷ Ou ainda, a nova teoria poderia simplesmente ser uma teoria de nível mais elevado que as teorias conhecidas anteriormente. Refiro-me a uma teoria que interligasse todo um grupo de teorias de um nível inferior, sem mudar substancialmente qualquer uma delas. Atualmente, a teoria da conservação da energia proporciona conexões desse tipo entre a dinâmica, a química, a eletricidade, a ótica, a teoria termal e assim por diante. Outros relacionamentos que compatibilizam teorias velhas e novas podem ser concebidos. Isoladamente ou em conjunto, poderiam exemplificar o processo histórico pelo qual a ciência se desenvolveu. Se assim fosse, o desenvolvimento científico seria genuinamente cumulativo. Novos tipos de fenômeno simplesmente descortinariam ordem em um aspecto da natureza em que antes nenhuma ordem tinha sido vista. Na evolução da ciência, o conhecimento novo substituiria a ignorância em vez de substituir um outro conhecimento, de um tipo incompatível.

É claro que a ciência – ou algum outro empreendimento talvez menos eficiente – poderia ter-se desenvolvido desse modo inteiramente cumulativo. Muita gente acreditou nisso, e a maioria ainda parece supor que a cumulatividade é o ideal que o desenvolvimento histórico deveria explicitar, ao menos se ele não tivesse sido tão frequentemente distorcido pelo imponderável do caráter humano. Há importantes razões para essa crença. Na Seção X vamos descobrir quão estreitamente a concepção da ciência

97 Frisemos todavia – e isso é significativo – que a teoria quântica não lida só com fenômenos subatômicos.

cumulativa está imbricada com uma epistemologia dominante que considera o conhecimento como uma construção feita pelo intelecto diretamente a partir de dados sensoriais em estado bruto. E na Seção XI examinaremos o sólido suporte dado pelas eficazes técnicas pedagógicas da ciência ao mesmo esquema historiográfico do desenvolvimento científico por acumulação. Não obstante, apesar da imensa plausibilidade dessa imagem ideal, multiplicam-se os motivos para ficarmos cogitando se essa é mesmo uma imagem da *ciência*. Depois do período pré-paradigma, a assimilação de todas as novas teorias e de quase todos os novos tipos de fenômenos efetivamente exigiu a destruição de um paradigma anterior e o consequente conflito entre escolas concorrentes do pensamento científico. Segundo a norma do desenvolvimento científico, a aquisição cumulativa de novidades não antecipadas mostra-se como uma exceção quase inexistente. A pessoa que leva a sério o fato histórico tem a obrigação de suspeitar que a ciência não tende para o ideal que nossa imagem de sua cumulatividade tem sugerido. Talvez a ciência seja um empreendimento de um tipo muito diferente.

Todavia, se fatos resistentes podem afastar-nos tanto do caminho, então um segundo exame do terreno que já percorremos pode sugerir que a aquisição cumulativa da novidade não só é efetivamente rara, mas improvável em princípio. A ciência normal, que é cumulativa, deve seu sucesso à habilidade dos cientistas regularmente selecionarem problemas que podem ser resolvidos com técnicas conceituais e instrumentais similares às aquelas que já existem.⁹⁸ No entanto, a pessoa que está se esforçando para resolver um problema definido pelo conhecimento e pela técnica existentes não está simplesmente olhando de modo aleatório à sua volta. Essa pessoa sabe o que quer atingir, e isso a leva a desenhar seus instrumentos e dirigir seus pensamentos de acordo com o objetivo em vista. A novidade não antecipada – a nova descoberta – pode emergir apenas na medida em que as antecipações desse cientista sobre a natureza e sobre seus instrumentos mostrem-se equivocadas. Em geral, a importância da descoberta resultante vai ser proporcional à extensão e à resistência da anomalia que a prefigurou. Então é óbvio que deve haver um conflito entre o paradigma que revela a anomalia e o paradigma que torna a anomalia um fenômeno explicado de acordo com determinadas leis. Os exemplos de descoberta por destruição do paradigma examinados na Seção VI não nos defrontam

98 É por isso que uma excessiva preocupação com problemas cuja resolução terá efeitos úteis – independentemente da sua relação com o conhecimento e com a técnica científicos existentes – pode tão facilmente inibir o desenvolvimento da ciência.

com um mero acidente histórico. Não há qualquer outro caminho que possibilite a efetiva geração de descobertas.

O mesmo argumento aplica-se ainda mais claramente à invenção de novas teorias. Há, em tese, apenas três tipos de fenômenos sobre os quais uma nova teoria poderia ser desenvolvida. O primeiro tipo consiste de fenômenos que já foram bem explicados pelos paradigmas existentes. Esse tipo de fenômeno raramente dá motivo ou ponto de partida para a construção de uma teoria. Quando isso ocorre – como no caso das três antecipações famosas que discutimos no final da Seção VII –, as teorias que resultam raramente são aceitas, já que a natureza não oferece base alguma para ajuizamento. Uma segunda classe de fenômenos consiste daqueles cuja natureza é indicada pelo paradigma existente, mas cujos detalhes só podem ser compreendidos através de uma articulação complementar da teoria. Esses são os fenômenos a que os cientistas dirigem sua investigação durante a maior parte do tempo. Todavia, tal investigação objetiva a articulação de paradigmas existentes e não a invenção de novos paradigmas. Só quando as tentativas de articulação paradigmática falham que os cientistas vão encontrar o terceiro tipo de fenômeno: as anomalias reconhecidas, cujo traço característico é a obstinada recusa em ser assimilada aos paradigmas existentes. Somente esse tipo de fenômeno dá lugar a novas teorias. Os paradigmas proporcionam para todos os fenômenos uma posição teoricamente determinada no campo perceptivo do cientista, exceto para as anomalias.

Mas se novas teorias são elaboradas para resolver anomalias que se manifestam na relação de uma teoria existente com a natureza, então uma nova teoria bem sucedida deve, quanto a algum tópico, permitir predições que são diferentes das predições derivadas de sua predecessora. Tal diferença não poderia ocorrer se as duas teorias fossem logicamente compatíveis. No processo de assimilação da anomalia, a segunda teoria deve tomar o lugar da primeira. Mesmo uma teoria como a da conservação da energia – que hoje se parece com uma superestrutura lógica que se relaciona com a natureza apenas através de teorias estabelecidas independentemente – não se desenvolveu historicamente sem destruição de paradigma. Em vez disso, ela emergiu de uma crise em que o ingrediente essencial foi a incompatibilidade entre a dinâmica newtoniana e algumas consequências, recentemente formuladas, da teoria do calórico sobre o calor. Só depois que a teoria do calórico foi rejeitada,

pôde a conservação da energia tornar-se parte da ciência.⁹⁹ E só depois de integrar a ciência por algum tempo que a teoria da conservação da energia chegou a parecer uma teoria de um tipo lógico mais elevado, e não uma teoria em conflito com suas predecessoras. É muito difícil ver como novas teorias poderiam ascender sem essas mudanças destrutivas nas crenças sobre a natureza. A inclusividade lógica não é historicamente sustentável, ainda que continue a ser uma concepção permissível da relação entre teorias que se sucedem.

Imagino que um século atrás poderíamos parar por aqui na defesa da necessidade das revoluções. Mas, hoje isso infelizmente não pode ser feito porque a concepção desenvolvida acima sobre essa matéria não pode ser mantida se for aceita a interpretação da natureza e da função da teoria científica que prevalece contemporaneamente. Tal interpretação – intimamente associada com os primórdios do positivismo lógico e não rejeitada categoricamente por seus sucessores – restringiria de tal forma o alcance e o significado de uma teoria aceita, que ela possivelmente não pudesse conflitar com qualquer teoria posterior que fizesse predições sobre alguns dos mesmos fenômenos naturais sobre os quais ela também fizera. O caso mais robusto e melhor conhecido dessa concepção restringida da teoria científica emerge nas discussões da relação entre a dinâmica einsteiniana contemporânea e as equações dinâmicas mais antigas que descendem dos *Principia* de Newton. Do ponto de vista do presente ensaio, essas duas teorias são fundamentalmente incompatíveis no sentido ilustrado pela relação da astronomia copernicana com a astronomia ptolomaica. A teoria de Einstein só pode ser aceita com o reconhecimento de que a teoria de Newton está errada. Como essa é hoje a visão de uma minoria¹⁰⁰, devemos examinar as mais preponderantes objeções a ela.

O cerne dessas objeções pode ser desenvolvido como se segue. A dinâmica relativista não poderia ter mostrado que a dinâmica de Newton está errada porque a dinâmica de Newton ainda é usada com grande sucesso pela maioria dos engenheiros e, em aplicações selecionadas, por muitos físicos. Ademais, a precisão desses usos da teoria mais antiga pode ser evidenciada a partir da própria teoria que – em outras aplicações – a substituiu. A teoria de Einstein poderia ser usada para mostrar que as predições feitas a partir das equações de Newton seriam tão boas quanto permitem nossos

99 Silvanus P. Thompson, *Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (London, 1910), I, 266-81.

100 Ver, por exemplo, as observações de P. P. Wiener em *Philosophy of Science*, XXV (1958), p. 298.

instrumentos de medida, em todas as aplicações que satisfizessem um pequeno número de condições restritivas. Por exemplo, se a teoria newtoniana deve oferecer uma boa solução aproximada, então as velocidades relativas dos corpos considerados devem ser pequenas quando comparadas com a velocidade da luz. Sujeita a essa condição e a algumas outras, a teoria newtoniana parece ser derivável da teoria einsteiniana, da qual seria, portanto, um caso especial.

Mas, continua a objeção, nenhuma teoria teria a possibilidade de conflitar com um de seus casos especiais. Se a teoria einsteiniana parece tornar errada a teoria newtoniana, isso só acontece porque alguns newtonianos foram descuidados a ponto de afirmar que a teoria newtoniana permitia a obtenção de resultados absolutamente precisos ou que a teoria newtoniana era válida também em velocidades relativas muito altas. Uma vez que esses newtonianos não poderiam obter qualquer evidência para suas afirmações, eles traíram os padrões da ciência quando as formularam. Todavia, na medida em que a teoria newtoniana sempre foi uma teoria verdadeiramente científica apoiada por evidência válida, ela ainda hoje continua a sê-lo. Einstein teria mostrado estar erradas apenas as pretensões extravagantes para a teoria. Pretensões que efetivamente nunca fizeram parte da ciência. Expurgada dessas extravagâncias meramente humanas, a teoria newtoniana nunca teria sido desafiada – e nunca poderia ter sido.

Alguma variante desse argumento é mais que suficiente para tornar imune ao ataque qualquer teoria já utilizada por um grupo de cientistas competentes. A tão vilipendiada teoria do flogisto, por exemplo, pôs em ordem um grande número de fenômenos físicos e químicos. Ela explicou por que os corpos queimavam – porque eles eram ricos em flogisto –, e por que os metais tinham tantas propriedades em comum, à diferença de seus minérios. Todos os metais eram compostos por diferentes terras elementares combinadas com flogisto. Esse último, sendo comum a todos os metais, produzia propriedades comuns. Adicionalmente, a teoria do flogisto explicava um certo número de reações em que os ácidos eram formados pela combustão de substâncias como o carbono e o enxofre. Também explicava o decréscimo de volume quando a combustão ocorre em um volume de ar confinado. Ou seja, o flogisto liberado pela combustão “estraga” a elasticidade do ar que o absorveu, assim como “estraga” a elasticidade de uma mola de aço.¹⁰¹ Se houvesse apenas os

101 James B. Conant, *Overthrow of the Phlogiston Theory* (Cambridge, 1950), pp. 13-16; e J. R. Partington, *A Short History of Chemistry* (2d ed.; London, 1951), pp. 85-88. A mais completa e simpática exposição das realizações da teoria do flogisto foi feita por H. Metzger em *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique* (Paris, 1930), Parte

fenômenos que os teóricos do flogisto selecionaram para a sua teoria, tal teoria jamais poderia ter sido desafiada. Um argumento similar será suficiente para toda teoria que já tenha sido algum dia aplicada com sucesso a um conjunto qualquer de fenômenos.

Mas para salvar teorias dessa maneira, seu âmbito de aplicação deve restringir-se a tais fenômenos e ao nível de precisão da observação com que já concorda a evidência experimental disponível.¹⁰² Levada um passo adiante – e esse passo dificilmente pode ser evitado uma vez que foi dado o primeiro passo –, uma limitação desse tipo proíbe ao cientista a pretensão de falar “cientificamente” sobre qualquer fenômeno que já não tenha sido observado. Se mantida dessa forma, tal restrição proíbe ao cientista utilizar uma teoria em sua própria pesquisa sempre que essa pesquisa entre em uma área ou busque um grau de precisão para os quais a prática anterior com a teoria não ofereça algum precedente. Essas proibições são logicamente irrefutáveis. Aceitá-las, todavia, implicaria o fim da investigação pela qual a ciência pode prosseguir em seu desenvolvimento.

Nesse ponto, já podemos presumir que o que acabamos de afirmar também seja virtualmente uma tautologia. Sem compromisso com um paradigma não poderia haver ciência normal. Ademais, tal compromisso deve estender-se a áreas e a graus de precisão para os quais não haja precedentes claramente reconhecidos. Se assim não fosse, o paradigma não poderia fornecer charadas que ainda não tivessem sido resolvidas. Além disso, não é só a ciência normal que depende do compromisso com um paradigma. Se uma teoria existente restringe o cientista apenas às aplicações existentes, então não poderia haver quaisquer surpresas, anomalias ou crises. Mas essas últimas são exatamente os sinalizadores que demarcam o caminho para a ciência extraordinária. Se as restrições positivistas sobre o âmbito de aplicabilidade legítima de uma teoria forem acatadas literalmente, deve parar de funcionar o mecanismo que diz à comunidade científica quais problemas devem levar à mudança dos fundamentos. Quando isso ocorre, a comunidade científica vai inevitavelmente retornar a algo muito parecido com o seu estado pré-paradigma. Ou seja, vai voltar para uma condição em que todos os membros da comunidade praticam ciência, mas em que o produto bruto dessa prática mal chega a se assemelhar à ciência. É realmente de admirar que o preço do avanço científico significativo seja um compromisso que está sempre exposto ao risco de estar errado?

II.

102 Compare-se com as conclusões obtidas com um tipo de análise muito diferente por R. B. Braithwaite, *Scientific Explanation* (Cambridge, 1953), pp. 50-87, esp. p. 76.

O mais importante é que há uma reveladora lacuna lógica no argumento do positivista. Uma lacuna que nos reintroduz de imediato na natureza da mudança revolucionária. Pode a dinâmica newtoniana ser realmente *derivada* da dinâmica relativista? Essa derivação seria parecida com quê? Imaginemos um conjunto de enunciados E_1, E_2, \dots, E_n que, juntos, compreendem as leis da teoria da relatividade. Esses enunciados contêm variáveis e parâmetros que representam posição espacial, tempo, massa em repouso, etc. Desses enunciados – conjugados com o aparato da lógica e da matemática – podemos deduzir todo um conjunto de outros enunciados, incluindo alguns que podem ser aferidos pela observação. Para provar a adequação da dinâmica newtoniana como um caso especial da dinâmica relativista devemos adicionar aos E_i 's enunciados como $(v/c)^2 \ll 1$, restringindo assim a amplitude dos parâmetros e variáveis. Esse conjunto ampliado de enunciados passa, a partir daí, a ser manipulado para produzir um novo conjunto de enunciados N_1, N_2, \dots, N_m que é formalmente idêntico às leis do movimento de Newton, à lei da gravidade, e assim por diante. Aparentemente a dinâmica newtoniana foi derivada da dinâmica einsteiniana submetida a umas poucas condições limitadoras.

Não obstante, essa derivação é espúria – pelo menos até esse ponto. Embora os N_i 's sejam um caso especial das leis da mecânica relativista, esses enunciados não são as leis de Newton. Ou pelo menos não podem ser as leis de Newton, exceto se reinterpretadas de um modo que seria impossível até mesmo durante um certo período já posterior ao trabalho de Einstein. As variáveis e parâmetros que nos E_i 's einsteinianos representavam posição espacial, tempo, massa, etc., ainda ocorrem nos N_i 's. E eles ainda representam nos N_i 's espaço, tempo e massa einsteinianos. Contudo, os referentes físicos desses conceitos einsteinianos de modo algum são idênticos aos conceitos newtonianos que têm o mesmo nome.¹⁰³ A não ser que mudemos as definições das variáveis nos N_i 's, os enunciados que derivamos não são newtonianos. Mas se nós mudarmos as definições das variáveis, já não poderemos dizer apropriadamente que *derivamos* as leis de Newton. Pelo menos não em qualquer dos sentidos generalizadamente reconhecidos hoje do termo “derivar”. É claro que nosso argumento explicou por que as leis de Newton sempre pareceram funcionar. Assim fazendo ele justificou, digamos, o motorista de um automóvel que age como se vivesse num universo newtoniano. Um argumento do mesmo tipo é usado para justificar o

103 A massa newtoniana é conservada e a massa einsteiniana é conversível em energia. Somente em velocidades relativamente baixas as duas podem ser medidas do mesmo modo, e mesmo nesse caso elas não devem ser concebidas como sendo a mesma.

ensino de uma astronomia geocêntrica para agrimensores. Mas o argumento ainda não fez o que ele deve alegadamente fazer. Isto é, ele não mostrou que as leis de Newton são um caso limitador das leis de Einstein. Na passagem para o limite não tivemos que mudar apenas as formas das leis. Tivemos que, simultaneamente, alterar os elementos estruturais fundamentais de que é composto o universo a que tais leis se aplicam.

Essa necessidade de mudar o significado de conceitos estabelecidos e familiares é central ao 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 conceitual resultante não é menos decisivamente destrutiva de um paradigma previamente estabelecido. Podemos até mesmo chegar a vê-la como um protótipo para as reorientações revolucionárias na ciência. A transição da mecânica newtoniana para a mecânica einsteiniana ilustra com particular clareza a revolução científica como um deslocamento da rede conceitual através da qual os cientistas veem o mundo, precisamente porque não envolveu a introdução de objetos ou conceitos adicionais.

Essas observações deveriam ser suficientes para mostrar aquilo que já poderia ter sido reconhecido se a cena filosófica fosse outra. Pelo menos para os cientistas, a maioria das diferenças aparentes entre as teorias científicas descartadas e suas sucessoras são reais. Embora uma teoria obsoletizada sempre possa ser vista como um caso especial de sua sucessora atualizada, ela deve ser transformada para esse propósito. E a transformação é tal que só pode ser compreendida com o posicionamento vantajoso da visão retrospectiva, ou seja, sob a direção explícita da teoria mais recente. Ademais, mesmo que tal transformação fosse um estratagema legítimo a ser empregado na interpretação da teoria mais antiga, o resultado de sua aplicação seria uma teoria tão restrita que ela só poderia reenunciar aquilo que já fosse conhecido. Essa reenunciação poderia ser útil por causa de sua economicidade, mas não seria suficiente para orientar a pesquisa científica.

Assim, vamos assumir a partir de agora que as diferenças entre paradigmas sucessivos são necessárias e inconciliáveis. Podemos então dizer, mais explicitamente, de que tipos são essas diferenças? O tipo mais aparente já foi ilustrado repetidamente. Sucessivos paradigmas imaginam e narram de modo diferente os objetos que constituem o universo e também o comportamento desses objetos. Isto é, eles diferem a respeito de questões tais como a existência de

partículas subatômicas, a materialidade da luz e a conservação do calor ou da energia. Estas são as diferenças substantivas entre os paradigmas sucessivos, e não requerem ilustrações adicionais. Mas os paradigmas não diferem apenas quanto à sua substância, já que eles não se dirigem apenas à natureza. Os paradigmas também se dirigem – no sentido inverso – à própria ciência que os produziu. Os paradigmas são a fonte dos métodos, da esfera de problemas e dos padrões de solução aceitos por qualquer comunidade científica madura em um período de tempo dado. Disso resulta que a recepção de um novo paradigma geralmente requer a redefinição da ciência correspondente. Alguns problemas antigos podem ser relegados a uma outra ciência ou declarados totalmente “não-científicos”. Outros problemas que anteriormente não existiam ou eram triviais podem, com o novo paradigma, tornar-se os próprios arquétipos de um trabalho científico significativo. Com a mudança dos problemas, geralmente também muda o padrão que distingue uma solução efetivamente científica de uma mera especulação metafísica, de um jogo de palavras ou de uma performance matemática. A tradição científico-normal que emerge de uma revolução científica não apenas é incompatível mas, em geral, é efetivamente incomensurável com a tradição que havia antes. O impacto do trabalho de Newton sobre a tradição normal de prática científica do século dezessete oferece um exemplo impressionante desses efeitos mais sutis da mudança de paradigma. Antes de Newton nascer a “ciência nova” do século já tinha, por fim, sido bem sucedida na rejeição das explicações aristotélicas e escolásticas, cujos termos visavam a expressar as essências dos corpos materiais. Dizer, como faziam essas explicações, que uma pedra caía porque sua “natureza” direcionava-a para o centro do universo era uma afirmação feita de modo a parecer um mero jogo de palavras tautológico – algo que ela não tinha sido anteriormente. A partir da rejeição das explicações aristotélicas e escolásticas, todo o fluxo das aparências sensoriais – incluindo cor, sabor e até mesmo o peso – passou a ser explicado em termos de tamanho, forma, posição e movimento de corpúsculos elementares de uma matéria básica. A atribuição de outras qualidades, além das mencionadas, aos átomos elementares era um recurso ao oculto e, portanto, fora dos limites da ciência. Molière captou precisamente o novo princípio quando ele ridicularizou o médico que explicava a eficácia soporífera do ópio atribuindo-a à sua potência dormitiva. Durante a última metade do século dezessete, muitos cientistas

preferiam dizer que a forma arredondada das partículas do ópio permitia-lhes acalmar os nervos sobre os quais elas se moviam.¹⁰⁴

Em um período anterior, explicações em termos de qualidades ocultas foram parte integrante do trabalho científico produtivo. Todavia, o novo compromisso do século dezessete com a explicação mecânico-corpuscular mostrou-se imensamente frutífero para várias ciências, livrando-as de problemas que tinham resistido à solução geralmente aceita, e sugerindo outros para substituí-los. Na dinâmica, por exemplo, as três leis do movimento de Newton são menos um produto de experimentos inovadores e mais um resultado da tentativa de reinterpretar observações bem conhecidas nos termos dos movimentos e interações dos corpúsculos primários neutros. Consideremos apenas uma ilustração concreta. Uma vez que os corpúsculos neutros só podiam agir uns sobre os outros por contato, a concepção mecânico-corpuscular da natureza dirigiu a atenção científica para um objeto de estudo totalmente novo: a alteração dos movimentos das partículas por meio de colisões. Descartes anunciou o problema e forneceu sua primeira suposta solução. Huyghens, Wren e Wallis desenvolveram-na ainda mais, em parte pela experimentação com as colisões dos bulbos dos pêndulos mas, principalmente, com a aplicação de características bem conhecidas do movimento aos novos problemas. Newton, por fim, embutiu esses resultados nas suas leis do movimento. A ação e a reação equivalentes da terceira lei são mudanças na quantidade de movimento experimentadas pelas duas partes em uma colisão. A mesma mudança do movimento fornece a definição de força dinâmica implícita na segunda lei. Nesse caso, como em muitos outros durante o século dezessete, o paradigma corpuscular engendrou um novo problema e engendrou também boa parte da solução desse problema.¹⁰⁵

Ademais, embora boa parte do trabalho de Newton estivesse direcionada para problemas e padrões implícitos derivados da concepção mecânico-corpuscular, o efeito do paradigma que resultou de seu trabalho foi uma mudança progressiva – e parcialmente destrutiva – nos problemas e padrões legítimos da ciência. A gravidade – interpretada como uma atração inata entre qualquer par de partículas de matéria – era uma qualidade oculta no mesmo sentido em que já o fora a “tendência para cair” da escolástica.

104 Para o corpuscularismo em geral, ver Marie Boas, “The Establishment of the Mechanical Philosophy”, *Osiris*, X (1952), 412-541. Para o efeito da forma da partícula no sabor, ver *ibid.*, p. 483.

105 R. Dugas, *La mécanique au XVII^e siècle* (Neuchâtel, 1954), pp. 177-85, 284-98, 345-56.

Portanto, enquanto os padrões do corpuscularismo permaneceram em vigor a busca de uma explicação mecânica da gravidade foi um dos problemas mais desafiadores para aqueles que aceitaram os *Principia* como paradigma. Newton dedicou muita atenção a esse problema, assim como o fizeram muitos dos seus sucessores do século dezoito. Aparentemente a única opção era rejeitar a teoria de Newton pelo seu fracasso em explicar a gravidade. Essa alternativa também foi amplamente adotada. No final, nenhuma dessas concepções triunfou. Incapazes de praticar a ciência sem os *Principia* ou fazer essa obra conformar-se com os padrões corpusculares do século dezessete, os cientistas gradualmente aceitaram a concepção de que a gravidade seria efetivamente inata. Em meados do século dezoito, tal interpretação já fora quase universalmente aceita, e o resultado foi uma genuína reversão – o que não é a mesma coisa que uma regressão – a um padrão escolástico. Atrações e repulsões inatas juntaram-se a tamanho, forma, posição e movimento como propriedades primárias fisicamente irreduzíveis da matéria.¹⁰⁶

A mudança resultante nos padrões e no campo de problemas da ciência física uma vez mais teve consequências importantes. Em torno dos anos quarenta do século dezoito, por exemplo, os eletricitistas já podiam falar da “virtude” atrativa do fluido elétrico sem provocar o ridículo com que o médico de Molière fora saudado um século antes. Ao assim fazer, os fenômenos elétricos passaram a exibir uma ordem diferente daquela que os cientistas mostravam quando os viam como os efeitos de um eflúvio ou descarga mecânica que poderia atuar apenas por contato. Em particular, quando a ação elétrica a certa distância tornou-se um objeto de estudo à parte pela sua importância própria, o fenômeno que hoje chamamos carga por indução pôde ser reconhecido como um dos seus efeitos. Anteriormente, quando esse fenômeno chegava a ser constatado, ele tinha sido atribuído à ação direta de atmosferas elétricas ou aos vazamentos ou “fugas” de energia elétrica inevitáveis em qualquer laboratório de eletricidade. A nova concepção dos efeitos de indução foi, por sua vez, a chave para a análise que Franklin fez da garrafa de Leyden e, desse modo, foi simultaneamente a chave para a emergência de um novo – e newtoniano – paradigma para a eletricidade. Tampouco foram a dinâmica e a eletricidade os únicos campos científicos afetados pela legitimação da busca por forças inatas da matéria. O grande volume de literatura do século dezoito sobre afinidades químicas e série de substituição também deriva

106 I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*. (Philadelphia, 1956), caps. vi-vii.

desse aspecto supramecânico do newtonianismo. Os químicos que acreditaram nessas atrações diferenciais entre várias espécies químicas organizaram experimentos que não poderiam ter sido imaginados antes, além de empreenderem a busca por novos tipos de reações. Sem os dados e conceitos químicos desenvolvidos naquele processo, o trabalho posterior de Lavoisier e, mais particularmente, o trabalho de Dalton seriam incompreensíveis.¹⁰⁷ Mudanças nos padrões que governam os problemas, conceitos e explicações permissíveis podem transformar a ciência. Na próxima seção vou até mesmo sugerir um sentido em que essas mudanças podem transformar o mundo.

Outros exemplos dessas mudanças não substantivas entre paradigmas que se sucedem podem ser recuperados da história de qualquer ciência, em qualquer período de seu desenvolvimento. Por enquanto, vamos nos contentar com apenas mais duas ilustrações – e bem mais concisas. Antes da revolução química, uma das tarefas da química era explicar as qualidades das substâncias químicas e as mudanças que essas qualidades sofriam durante as reações. Com a ajuda de um pequeno número de “princípios” elementares – um dos quais era o flogisto – o químico deveria explicar por que algumas substâncias são ácidas, outras metalinas, outras combustíveis, e assim por diante. Foi obtido algum sucesso nessa direção. Nós já observamos que o flogisto explicava por que os metais eram tão semelhantes entre si. E ainda poderíamos ter desenvolvido um argumento similar para os ácidos. Entretanto, a reforma de Lavoisier acabou por descartar os “princípios” químicos, privando a química de algum poder efetivo – e de muito poder potencial – de explicação. Para compensar essa perda foi necessária uma mudança nos padrões. Isto posto, durante boa parte do século dezenove o fracasso na explicação das qualidades dos compostos não chegou a ser uma condenação para qualquer teoria química.¹⁰⁸

E também: Clerk Maxwell compartilhou com outros proponentes da teoria ondulatória da luz no século dezenove a convicção de que as ondas de luz deveriam propagar-se através de um éter material. Esquematizar um meio mecânico para dar suporte a tais ondas foi um problema padrão para muitos de seus mais hábeis contemporâneos. Contudo, a sua própria teoria – a teoria eletromagnética da luz – não deu nenhuma explicação de um meio capaz de dar suporte às ondas de luz. E não foi só isso. A teoria de Maxwell claramente tornou ainda mais difícil do que antes

107 Para a eletricidade, ver *ibid.*, caps. viii-ix. Para a química, ver Metzger, *op. cit.*, Parte I.

108 E. Meyerson, *Identity and Reality* (New York, 1930), cap. x.

proporcionar essa explicação. Tais razões levaram a uma ampla rejeição inicial da teoria de Maxwell. Mas, assim como a teoria de Newton, a teoria de Maxwell mostrou-se de difícil descarte. Quando atingiu o *status* de paradigma, a atitude da comunidade para com ela mudou. A insistência de Maxwell na existência de um éter mecânico passou a parecer cada vez mais uma afirmação da boca para fora – algo que enfaticamente podemos dizer que ela não foi –, e as tentativas de esquematizar esse tal éter mecânico foram abandonadas. Os cientistas deixaram de pensar que não fosse científico falar de um *deslocamento* elétrico sem especificar o que estava sendo deslocado. Novamente, o resultado foi um novo conjunto de problemas e padrões. Um conjunto que, nesse caso, teve muito a ver com a emergência da teoria da relatividade.¹⁰⁹

Essas alterações características na concepção dos problemas e padrões legítimos da comunidade científica não teriam tanto significado para a tese desse ensaio, se pudéssemos supor que elas sempre tivessem ocorrido com a substituição de um tipo metodologicamente inferior por algum tipo metodologicamente superior. Mas, nesse caso, seus efeitos também pareceriam cumulativos. Não surpreende que alguns historiadores tenham argumentado que a história da ciência registre um contínuo aumento da maturidade e do refinamento da concepção das pessoas sobre a natureza da ciência.¹¹⁰ Porém, a defesa de um desenvolvimento cumulativo dos problemas e padrões da ciência é ainda mais difícil de se fazer que a defesa da cumulatividade das teorias. Ainda que seu abandono pelos cientistas do século dezoito tenha sido frutífero, a tentativa de explicar a gravidade não foi dirigida a um problema intrinsecamente ilegítimo. As objeções às forças inatas não eram nem que elas fossem inerentemente não-científicas, nem que elas fossem metafísicas em algum sentido pejorativo. Não há quaisquer padrões externos que permitam juízos dessa ordem. O que ocorreu não foi nem um declínio, nem uma ascensão de padrões. O que ocorreu foi simplesmente uma mudança exigida pela adoção de um novo paradigma. Ademais, tal mudança foi revertida desde então – e ainda poderia sê-lo uma vez mais. No século vinte, Einstein foi bem sucedido na explicação das atrações gravitacionais. Tal explicação fez a ciência retornar para um conjunto de cânones e problemas que são – no aspecto particular dessas atrações gravitacionais – mais

109 E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Æther and Electricity*, II (London, 1953), 28-30.

110 Para uma tentativa brilhante e inteiramente atualizada de ajustar o desenvolvimento científico a esse leito de Procusto, ver C. C. Gillispie, *The Edge of Objectivity: An Essay in the History of Scientific Ideas* (Princeton, 1960).

parecidos com as explicações dadas pelos predecessores de Newton do que com as explicações dadas pelos seus sucessores. E ainda: o desenvolvimento da mecânica quântica reverteu a proibição metodológica que se originou na revolução química. Agora os químicos tentam – e com grande sucesso – explicar a cor, o estado de agregação e outras qualidades das substâncias usadas e produzidas em seus laboratórios. Uma reversão parecida pode estar a caminho até mesmo na teoria eletromagnética. Na física contemporânea o espaço não é o substrato inerte e homogêneo empregado nas teorias de Newton e de Maxwell. Algumas de suas novas propriedades não são muito diferentes daquelas que em certo momento foram atribuídas ao éter. Talvez algum dia possamos até mesmo chegar a saber o que é um deslocamento elétrico.

Os exemplos precedentes ampliam nossa compreensão das maneiras com que os paradigmas dão forma à vida científica, ao mudar a ênfase das funções cognitivas para as funções normativas dos paradigmas. Anteriormente, nós examinamos principalmente o papel do paradigma como um veículo para a teoria científica. Nesse papel a função do paradigma é instruir o cientista sobre as entidades que a natureza contém – assim como sobre as entidades que a natureza não contém –, e sobre as maneiras como essas entidades se comportam. Tal informação engendra um mapa cujos detalhes serão elucidados pela investigação científica madura. Como a natureza é demasiado complexa e variada para ser explorada ao acaso, esse mapa é tão essencial quanto a observação e o experimento para o contínuo desenvolvimento da ciência. Os paradigmas mostram-se como constitutivos da atividade de investigação por meio das teorias que neles estão implícitas. No entanto, os paradigmas são constitutivos da ciência em outros aspectos. E é isso que se põe agora. Nossos exemplos mais recentes mostram particularmente que não é só um mapa que os paradigmas proporcionam aos cientistas. Eles também fornecem algumas das diretrizes essenciais para a elaboração de mapas. Quando aprende um paradigma, o cientista adquire teoria, métodos e padrões juntos – geralmente, em uma mistura inextricável. Portanto, quando mudam os paradigmas usualmente há mudanças significativas nos critérios que determinam a legitimidade dos problemas e das soluções propostas.

Essa informação nos faz voltar ao ponto em que começou a presente seção. Isso ocorre porque ela nos oferece a primeira indicação explícita de por que a escolha entre paradigmas concorrentes levanta regularmente questões que não podem ser resolvidas pelos critérios da ciência normal. Na área – tanto mais

significativa quanto é incompleta – em que duas escolas científicas discordam sobre o que é um problema e sobre o que é uma solução, elas vão entrecruzar argumentos sem conseguir compreender-se mutuamente no debate relativo aos méritos de seus respectivos paradigmas. Nos argumentos parcialmente circulares que regularmente daí resultam, mostra-se como cada paradigma satisfaz mais ou menos os critérios que ele fixa para si mesmo, deixando de preencher apenas uns poucos critérios dentre aqueles ditados pelo seu oponente. Também há outras razões para a incompletude do contato lógico que tão consistentemente caracteriza os debates sobre paradigmas. Por exemplo, uma vez que entre dois paradigmas concorrentes nenhum deles deixa sem resolver o mesmo conjunto de problemas, os debates sobre paradigma sempre envolvem a seguinte questão: quais são os problemas mais significativos para se resolver? Do mesmo modo que a questão dos padrões concorrentes, essa questão de valores só pode ser respondida em termos de critérios que se situam completamente fora da ciência normal. É exatamente esse recurso a critérios externos que mais obviamente tornam revolucionários os debates sobre paradigmas. Entretanto, algo ainda mais fundamental que padrões e valores também está em questão. Até aqui eu só argumentei que os paradigmas são constitutivos da ciência. Agora eu desejo mostrar um sentido em que os paradigmas são também constitutivos da natureza.

X. As Revoluções como Mudanças de Visão de Mundo

Quando examina o registro da investigação científica passada a partir da posição vantajosa da historiografia contemporânea, o historiador da ciência pode ser tentado a exclamar que quando mudam os paradigmas, o mundo mesmo muda com eles. Levados por um novo paradigma, os cientistas adotam novos instrumentos e observam em novos lugares. O que tem ainda maior relevância é que durante as revoluções os cientistas veem coisas novas e diferentes quando exploram com os instrumentos familiares em lugares que já examinaram antes. De algum modo, é como se a comunidade profissional tivesse sido repentinamente transportada para um outro planeta onde os objetos familiares são vistos sob uma luz diferente, e onde a esses objetos familiares juntaram-se objetos não familiares. É claro que não acontece nada exatamente assim. Não há qualquer reassentamento geográfico. Fora do laboratório, os negócios do cotidiano continuam como antes. Entretanto, mudanças de paradigma levam os cientistas a ver diferentemente o mundo em que eles se envolvem por meio da pesquisa. Na medida em que o único acesso dos cientistas a esse mundo dá-se através do que eles veem e fazem, temos vontade de dizer que depois de uma revolução eles estão reagindo a um mundo diferente.

É no papel de protótipos elementares para essas transformações do mundo do cientista que as demonstrações familiares de uma conversão na configuração visual [*Gestalt switch*] mostram-se tão sugestivas. O que eram patos no mundo do cientista antes da revolução, tornam-se coelhos depois dela. A pessoa que primeiro vê o exterior da caixa olhando-a por cima, mais tarde vê o interior da caixa olhando-a por baixo. Ainda que mais graduais e quase sempre irreversíveis, transformações como essas também acompanham o treinamento científico. Olhando para o contorno de um mapa o estudante vê linhas sobre o papel, enquanto o cartógrafo vê a representação visual de um terreno. Olhando para uma fotografia de uma câmara de bolhas o estudante vê uma confusão de linhas retorcidas e quebradas, enquanto o físico vê um registro familiar de eventos subnucleares. Só depois de um certo número de transformações de visão como essas que o estudante se torna um habitante do mundo do cientista, passando a ver aquilo que o cientista vê e reagindo do mesmo modo que o cientista. No entanto, o mundo em que o estudante entra a partir daí não é fixado de uma

vez por todas pela natureza do ambiente, por um lado, e pela natureza da ciência, por outro. Ao contrário, o mundo do cientista é determinado conjuntamente pelo ambiente e pela tradição científico-normal que o estudante foi treinado para por em prática. Portanto, em tempos de revolução – quando muda a tradição científico-normal – a percepção que o cientista tem de seu ambiente precisa ser reeducada. Em algumas situações familiares, o cientista precisa aprender a ver uma nova configuração. Depois que isso é feito, o mundo da sua pesquisa parecerá, aqui e acolá, incomensurável com o mundo que ele habitou antes. Essa é uma outra razão por que escolas guiadas por paradigmas diferentes estão, de algum modo e em certo grau, sempre intercambiando incompreensões.

Em suas formas mais usuais, é claro, os experimentos com figuração visual ilustram apenas a natureza das transformações perceptivas. Eles não nos dizem nada sobre o papel dos paradigmas ou da experiência previamente assimilada nos processos de percepção. Mas, sobre eles há um rico acervo de literatura psicológica. Boa parte dela desenvolvida a partir do trabalho pioneiro do *Hanover Institute*. O participante de uma experiência psicológica que põe óculos com lentes inversoras, inicialmente vê o mundo inteiro de cabeça para baixo. No começo, seu aparato perceptivo funciona como se ele tivesse sido treinado para funcionar sem óculos. O resultado não poderia deixar de ser extrema desorientação, levando a uma aguda crise pessoal. Mas, depois que esse participante da pesquisa começa a aprender a lidar com seu novo mundo, todo o seu campo visual dá uma cambalhota. Isso ocorre geralmente depois de um período intermediário em que a visão fica totalmente confusa. A partir daí, os objetos são vistos novamente do mesmo jeito que eram vistos antes que os óculos inversores fossem postos. A assimilação de um campo visual que antes era anômalo reagiu sobre o próprio campo visual, mudando-o.¹¹¹ Tanto literal quanto metaforicamente, a pessoa que se acostumou com as lentes inversoras sofre uma transformação revolucionária da visão.

Os participantes do experimento com as cartas de baralho anômalas – experimento discutido na Seção VI – vivenciaram uma transformação muito parecida. Até que fossem instruídos por meio de uma prolongada exposição que o universo continha cartas anômalas, eles só viram os tipos de cartas para as quais tinham sido equipados pela experiência anterior. Ademais, uma vez que a

111 Os experimentos originais foram feitos por George M. Stratton e publicados em “Vision without Inversion of the Retinal Image”, *Psychological Review*, IV (1897), pp. 341-60, 463-81. Uma revisão mais atualizada foi produzida por Harvey A. Carr, *An Introduction to Space Perception* (New York, 1935), pp. 18-57.

experiência proporcionou as categorias adicionais requeridas, os participantes do experimento tornaram-se capazes de ver todas as cartas anômalas à primeira inspeção longa o suficiente para permitir que as identificações fossem feitas. Outros experimentos ainda demonstram que o tamanho, a cor, etc., de objetos exibidos experimentalmente também variam de acordo com o treinamento e a experiência anteriores do participante.¹¹² A exploração da rica literatura experimental de onde foram tirados esses exemplos faz-nos suspeitar que algo como um paradigma é pré-requisito para a própria percepção. O que uma pessoa vê depende ao mesmo tempo daquilo para o que ela olha e daquilo que a sua experiência visual-conceitual prévia lhe ensinou a ver. Na falta de um treinamento assim pode haver apenas – na frase de William James – “*uma confusão de brilhos e zumbidos*”.

Em anos recentes, vários dos interessados na história da ciência começaram a achar os experimentos descritos acima imensamente sugestivos. Em especial N. R. Hanson usou as demonstrações com as formas configurativas [*Gestalt*] para elaborar algumas das mesmas consequências da crença científica que me interessam aqui.¹¹³ Outros colegas observaram repetidamente que a história da ciência faria um sentido melhor e mais coerente se pudessemos supor que os cientistas ocasionalmente vivenciaram mudanças de percepção como as descritas acima. Contudo, embora os experimentos psicológicos sejam sugestivos, eles não podem, dada a natureza do caso, ser mais que isso. Eles mostram características da percepção que *poderiam* ser centrais ao desenvolvimento científico. Mas eles não demonstram que a observação cuidadosa e controlada que o cientista-pesquisador exercita chegue a compartilhar daquelas características. Ademais, a própria natureza desses experimentos torna impossível fazer qualquer demonstração direta desse ponto. Se o exemplo histórico deve fazer esses experimentos psicológicos parecerem relevantes, devemos antes considerar que tipos de evidência nós podemos e que tipos de evidência nós não podemos esperar que a história forneça. O participante de uma demonstração da psicologia da configuração perceptiva [*Gestalt*] sabe que a sua percepção mudou, precisamente porque ele pode alternar repetidamente as figuras propiciadas por um desenho enquanto

112 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 Bruner, Leo Postman, e John Rodrigues, “Expectations and the Perception of Color”, *American Journal of Psychology*, LXIV (1951), pp. 216-27.

113 N. R. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), cap. i.

segura o mesmo livro ou folha de papel em suas mãos. Ciente de que nada mudou em seu ambiente, esse participante dirige crescentemente a atenção para as linhas sobre o papel para o qual está olhando, e não para a figura que pode ser ora pato, ora coelho. Por fim, ele pode até mesmo aprender a ver tais linhas sem enxergar qualquer uma das figuras. Então ele poderá dizer – algo que não poderia fazer legitimamente antes – que são essas linhas que ele realmente vê, mas que ele as vê alternadamente *como* pato e *como* coelho. Pela mesma razão, o participante do experimento com as cartas de baralho anômalas sabe – ou, mais precisamente, pode ser persuadido – que a sua percepção deve ter mudado porque uma autoridade externa – o coordenador do experimento – assegura-lhe que, independentemente do que ele viu, ele estava *olhando para* um cinco de copas preto o tempo todo. Como em todos os experimentos psicológicos similares, em ambos os casos a efetividade da demonstração depende dela ser analisável dessa maneira. Sem que houvesse um padrão externo com respeito ao qual uma alternância de visão pudesse ser demonstrada, não se poderia tirar qualquer conclusão sobre possibilidades perceptivas alternadas.

Com a observação científica, no entanto, a situação é exatamente o oposto. O cientista não pode ter qualquer recurso acima e além daquilo que vê com os seus olhos e com os seus instrumentos. Se houvesse uma autoridade mais elevada a quem recorrer para mostrar que sua visão mudou, então essa autoridade mesma tornar-se-ia a fonte de seus dados, e o comportamento de sua visão se tornaria uma fonte de problemas. Exatamente como o comportamento da visão do participante de um experimento é uma fonte de problemas para o psicólogo. Os mesmos tipos de problemas seriam levantados se o cientista pudesse mudar alternadamente, como o participante dos experimentos da psicologia da configuração visual [*Gestalt*]. O período durante o qual a luz foi “às vezes uma onda e às vezes uma partícula” foi um período de crise. Um período em que alguma coisa estava errada. Esse período só terminou com o desenvolvimento da mecânica ondulatória e com a compreensão de que a luz era uma entidade autoconsistente que difere tanto das ondas quanto das partículas. Nas ciências, portanto – se as conversões perceptivas acompanham as mudanças de paradigma –, não podemos esperar que os cientistas testemunhem diretamente essas mudanças. Olhando para a Lua, o converso ao copernicanismo não diz: “*Eu via um planeta, mas agora eu vejo um satélite*”. Essa frase implicaria um sentido em que o sistema ptolomaico tivesse sido revisado em determinado momento. No lugar disso, um converso à

nova astronomia diz: “*Cheguei a considerar a Lua como um planeta* (ou então, “*Eu via a Lua como um planeta*”), *mas eu estava equivocado.*” Esse tipo de afirmação é recorrente na conjuntura que se segue às revoluções científicas. Se essa conjuntura usualmente camufla uma mudança na visão científica – ou alguma outra transformação mental que tenha o mesmo efeito –, não podemos esperar um testemunho direto sobre essa mudança. De preferência, devemos procurar evidência indireta e comportamental de que, com um novo paradigma, agora o cientista vê de um modo diferente daquele que via antes.

Retornemos então aos dados e indaguemos que tipos de transformações no mundo do cientista o historiador que acredita em tais mudanças pode descobrir. A descoberta de Urano por Sir William Herschel oferece um primeiro exemplo. É um exemplo que apresenta estreito paralelo com o experimento das cartas anômalas. Em pelo menos dezessete ocasiões diferentes entre 1690 e 1781, um certo número de astrônomos – incluindo vários dos mais eminentes observadores da Europa – viu uma estrela em posições que, atualmente, supomos que devem ter sido ocupadas naquele período por Urano. Um dos melhores observadores daquele grupo efetivamente viu a estrela em quatro noites sucessivas em 1769, sem notar que o seu movimento poderia ter sugerido uma identificação diferente. Ou seja, sem notar que aquilo não era uma estrela. Herschel observou o mesmo objeto pela primeira vez 12 anos depois, mas com um telescópio muito mais aperfeiçoado que ele mesmo tinha feito. Isso levou-o a notar um tamanho aparente do disco que não era comum entre as estrelas. Havia alguma coisa estranha. Então ele deixou para resolver o problema depois que pudesse fazer novas observações. Essas novas observações mostraram o movimento de Urano em meio às estrelas, o que fez com que Herschel anunciasse que tinha visto um novo cometa! Só vários meses depois – após algumas tentativas frustradas de ajustar o movimento observado à órbita de um cometa – um outro astrônomo, Lexell, sugeriu que aquela poderia ser uma órbita planetária.¹¹⁴ Quando essa sugestão foi aceita, o céu dos astrônomos profissionais perdeu várias estrelas e, ao mesmo tempo, ganhou um novo planeta. O corpo celeste que fora observado esporadicamente por quase um século passou a ser visto de modo diferente depois de 1781. Isso aconteceu porque ele não poderia mais ser ajustado às categorias perceptivas (estrela ou cometa) fornecidas pelo paradigma que prevalecera até então, do mesmo modo que aquela carta de baralho anômala.

114 Peter Doig, *A Concise History of Astronomy* (London, 1950), pp. 115-16.

A mudança de visão que tornou os astrônomos capazes de ver Urano, o planeta, não parece, contudo, ter afetado apenas a percepção do objeto anteriormente observado. Suas consequências tiveram um alcance muito maior. Embora a evidência seja equívoca, provavelmente essa mudança paradigmática menor impulsionada por Herschel tenha ajudado a preparar os astrônomos para a rápida descoberta, depois de 1801, de numerosos planetas menores ou asteroides. Em virtude de seu tamanho pequeno, eles não mostram a magnitude anômala que alertou Herschel. Não obstante, preparados para encontrar planetas adicionais, os astrônomos tornaram-se capazes, com instrumentos padrão, de identificar vinte deles nos primeiros cinquenta anos do século dezenove.¹¹⁵ A história da astronomia proporciona muitos exemplos de mudanças paradigma-induzidas da percepção científica. Algumas delas até mesmo bem menos equívocas. Pode-se conceber que tenha sido um acidente, por exemplo, que os astrônomos ocidentais só começassem a ver mudança num céu anteriormente imutável no transcurso do meio século que se seguiu à proposta do novo paradigma por Copérnico? Os chineses – cujas crenças cosmológicas não vetavam mudanças no céu – registraram o aparecimento de muitas novas estrelas nos céus em data muito mais antiga. Mesmo sem a ajuda de um telescópio, acrescenta-se que os chineses registraram sistematicamente o aparecimento de manchas solares bem antes que elas fossem vistas por Galileu e seus contemporâneos.¹¹⁶ As manchas solares e uma nova estrela também não foram os únicos exemplos de mudança celeste a emergir nos céus da astronomia ocidental imediatamente depois de Copérnico. Usando instrumentos tradicionais – alguns tão simples quanto um pedaço de barbante – os astrônomos do período mais avançado do século dezesseis descobriram repetidamente que os cometas percorrem livremente o espaço anteriormente reservado aos planetas e estrelas imutáveis.¹¹⁷ A facilidade e rapidez com que os astrônomos viram novas coisas ao olhar para velhos objetos com os velhos instrumentos nos faz ter vontade de dizer que depois de Copérnico os astrônomos passaram a viver em um mundo diferente. De qualquer modo, suas pesquisas passaram a ser desenvolvidas como se esse fosse o caso.

115 Rudolph Wolf, *Geschichte der Astronomie* (München, 1877), pp. 513-15, 683-93. Note-se particularmente a dificuldade que a exposição de Wolf tem para explicar essas descobertas como uma consequência da Lei de Bode.

116 Joseph Needham, *Science and Civilization in China*, III (Cambridge, 1959), pp. 423-29, 434-36.

117 T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), pp. 206-9.

Os exemplos anteriores foram selecionados da astronomia porque os relatórios de observação celeste são frequentemente transmitidos em uma linguagem de termos de observação relativamente puros. Somente nesses relatórios podemos ter a esperança de encontrar algo como um paralelismo completo entre as observações dos cientistas e as observações dos participantes de experimentos feitos pelos psicólogos. Mas nós não precisamos insistir num paralelismo tão completo. Temos muito a ganhar com o relaxamento do nosso padrão. Se estivermos satisfeitos com o uso cotidiano do verbo 'ver', poderemos rapidamente reconhecer que já encontramos muitos outros exemplos das transformações na percepção científica que acompanham a mudanças de paradigma. O uso estendido de 'percepção' e de 'visão' vai exigir logo à frente uma defesa explícita. Antes disso, contudo, deixe-me ilustrar a sua aplicação na prática.

Observemos de novo, por um momento, dois dos nossos exemplos prévios da história da eletricidade. Durante o século dezessete, quando suas pesquisas eram guiadas por uma ou outra teoria do eflúvio, os eletricitistas viam pedacinhos de palha ricochetearem nos – ou se desprenderem dos – corpos eletrificados que as atraíram. Pelo menos é isso que os observadores do século dezessete diziam ter visto. E nós não temos nenhuma razão a mais para duvidar de seus relatos de percepção do que temos para duvidar dos nossos próprios. Postado diante do mesmo aparato, um observador moderno iria ver repulsão eletrostática no lugar de um rebote mecânico ou gravitacional. Mas historicamente – com uma exceção universalmente ignorada –, a repulsão eletrostática não seria vista até que o gerador eletrostático de Hauksbee tivesse ampliado enormemente seus efeitos. A repulsão que se segue à eletrificação por contato foi, entretanto, apenas um entre muitos efeitos de repulsão que Hauksbee viu. Por meio de suas pesquisas – exatamente como nas conversões dos padrões configurativos [*Gestalt switch*] – a repulsão tornou-se repentinamente uma manifestação fundamental da eletrificação. A partir daí foi a atração que passou a exigir explicação.¹¹⁸ Os fenômenos elétricos visíveis no começo do século dezoito foram mais sutis e mais variados que os fenômenos elétricos vistos pelos observadores do século dezessete. Ou ainda: depois da assimilação do paradigma de Franklin, o eletricitista passou a ver algo diferente daquilo que via antes ao olhar para a garrafa de Leyden. O dispositivo tornara-se um condensador para o qual já não eram

118 Duane Roller e Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge* (Cambridge, Mass.), pp. 21-29.

requeridos nem vidro nem formato de vaso. No lugar disso, as duas capas condutoras – uma das quais não fazia parte do equipamento original – passaram a ser proeminentes. Como tanto as discussões escritas quanto as representações gráficas foram gradualmente evidenciando, duas placas de metal com um não-condutor entre elas tornaram-se o protótipo dessa classe de equipamento.¹¹⁹ Simultaneamente, outros efeitos indutivos receberam novas descrições. E ainda outros desses efeitos indutivos foram notados pela primeira vez.

Mudanças desse tipo não estão restritas à astronomia e à eletricidade. Já observamos que algumas transformações de visão similares podem ser obtidas na história da química. Já dissemos que Lavoisier viu oxigênio onde Priestley vira ar desflogistizado – e onde outros nem chegaram a ver coisa alguma. No entanto, ao aprender a ver o oxigênio, Lavoisier também teve que mudar sua visão de muitas outras substâncias familiares. Ele teve que ver, por exemplo, um composto onde Priestley e seus contemporâneos viram uma terra elementar. E ainda houve outras mudanças. Como resultado da descoberta do oxigênio, no fundo Lavoisier passou a ver a natureza diferentemente. E na falta de algum recurso àquela hipotética natureza fixa que ele “viu diferentemente”, o princípio de economia compele-nos a dizer que, depois de descobrir o oxigênio, Lavoisier passou a trabalhar num mundo diferente.

Dentro em pouco devo indagar sobre a possibilidade de evitar essa estranha locução. Mas primeiro invoquemos um exemplo adicional de seu uso. No caso, um uso que derivou de uma das melhores partes da obra de Galileu. Desde a antiguidade remota que muita gente tem visto um ou outro corpo pesado, atado a um fio ou corrente, oscilando de um lado para o outro até chegar ao repouso. Para os aristotélicos – que acreditavam que um corpo pesado fosse movido pela sua própria natureza a partir de uma posição mais elevada até chegar a um estado de repouso em uma posição inferior – o corpo oscilante estava simplesmente tendo dificuldade para cair. Seguro pela corrente, ele só poderia atingir o repouso no ponto mais baixo, depois de um movimento de vai e vem que duraria um tempo considerável. Galileu, por outro lado, olhando para o corpo oscilante viu um pêndulo. Ou seja, um corpo que quase poderia ter êxito na repetição do mesmo movimento sucessivas vezes, até o infinito. Vendo as coisas desse modo, Galileu também observou outras propriedades do pêndulo, assim como construiu em torno delas muitas das partes mais significativas e originais da sua nova

119 Ver a discussão na Seção VII e a literatura a que leva a referência ali citada.

dinâmica. Das propriedades do pêndulo, por exemplo, Galileu derivou seus únicos argumentos completos e plausíveis a respeito da independência do peso em relação à taxa de queda, do mesmo modo que o relacionamento da altura vertical com a velocidade final dos movimentos na descida de um plano inclinado.¹²⁰ Todos esses fenômenos naturais ele viu de maneira diferente daquela que ele via antes.

Por que ocorreu a conversão visual? Em virtude do gênio de Galileu, é claro. Mas observe-se que o gênio não se manifesta aqui por meio de uma observação mais acurada ou objetiva do corpo oscilante. Descritivamente, a percepção aristotélica é tão acurada quanto a galileana. Quando Galileu relatou que o período de tempo da oscilação do pêndulo era independente da amplitude para amplitudes de até 90°, sua concepção do pêndulo levou-o a ver muito mais regularidade do que aquela que podemos descobrir nisso atualmente.¹²¹ O que parece estar envolvido nesse caso de Galileu foi a exploração, por uma pessoa genial, das possibilidades de percepção disponibilizadas por uma mudança no paradigma medieval. Galileu não chegou a se formar completamente como um aristotélico. Pelo contrário, ele foi treinado para analisar o movimento nos termos da teoria do ímpeto. Falo de um paradigma medieval tardio que sustentava que a continuidade do movimento de um corpo pesado é devido a um poder interno nele implantado pelo propulsor que deu início ao movimento. Jean Buridan e Nicole Oresme – os escolásticos do século catorze que elevaram a teoria do ímpeto às suas mais perfeitas formulações – são as primeiras pessoas de que se tem conhecimento que viram nos movimentos oscilatórios uma certa porção daquilo que Galileu também viu nesses movimentos. Buridan descreve o movimento de uma corda vibratória como um movimento em que primeiramente o ímpeto é implantado quando a corda é percutida. A seguir, o ímpeto é consumido no deslocamento da corda que está contrariando a resistência de seu próprio tensionamento. A tensão conduz a corda para traz, implantando um ímpeto crescente até que o ponto médio do movimento é atingido. Depois disso o ímpeto desloca a corda na direção oposta, contrariando de novo o tensionamento da corda. Isso prossegue em um processo simétrico que pode continuar indefinidamente. Mais tarde, no mesmo século, Oresme esboçou uma análise parecida da pedra balançando, naquilo que hoje aparece como a primeira discussão de um pêndulo.¹²² Sua visão é claramente muito próxima daquela visão com que Galileu

120 Galileo Galilei, *Dialogues concerning Two New Sciences*, trad. H. Crew e A. de Salvio (Evanston, Ill., 1946), pp. 80-81, 162-66.

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

abordou o pêndulo pela primeira vez. Pelo menos no caso de Oresme – e é quase certo que no caso de Galileu também –, tal visão tornou-se possível pela transição do paradigma aristotélico original para o paradigma escolástico do ímpeto na explicação do movimento. Até que o paradigma escolástico fosse inventado, não havia pêndulos para o cientista ver. Só havia pedras balançando. Os pêndulos foram trazidos à existência por algo muito parecido com uma conversão paradigmático-induzida da configuração perceptiva [*Gestalt switch*].

No entanto, temos mesmo que descrever aquilo que separa Galileu de Aristóteles – ou Lavoisier de Priestley – como uma transformação de visão? Essas pessoas efetivamente *viam* coisas diferentes *ao olhar* para os mesmos tipos de objetos? Haveria algum sentido legítimo em que pudéssemos dizer que elas desenvolviam suas pesquisas em mundos diferentes? Tais questões não podem mais ser adiadas já que, obviamente, há um modo muito mais costumeiro de descrever todos os exemplos históricos esboçados acima. Muitos leitores certamente gostariam de dizer que aquilo que muda com um paradigma é só a interpretação que o cientista faz das observações. Essas, por sua vez, seriam fixadas de uma vez por todas pela natureza do ambiente e pela natureza do aparato perceptivo. De acordo com essa visão, tanto Priestley quanto Lavoisier viram o oxigênio, mas eles interpretaram suas observações diferentemente. Tanto Aristóteles quanto Galileu teriam visto pêndulos, mas ambos diferiram em suas interpretações sobre aquilo que viram.

Permitam-me dizer logo de uma vez que essa concepção muito generalizada sobre o que ocorre quando os cientistas mudam intelectualmente sobre tópicos fundamentais não pode ser nem erro completo, nem mero equívoco. Em vez disso, essa concepção é uma parte essencial de um paradigma filosófico iniciado por Descartes e desenvolvido ao mesmo tempo que a dinâmica newtoniana. Esse paradigma serviu tanto à ciência quanto à filosofia. Sua exploração – como a exploração da própria dinâmica newtoniana – foi frutífera para uma fundamentação intelectual que talvez não pudesse ser obtida de outra forma. Mas – como o exemplo da dinâmica newtoniana também indica –, mesmo o sucesso passado mais retumbante não dá nenhuma garantia de que uma crise não vai se instalar algum dia. Atualmente, a pesquisa em partes da filosofia, da psicologia, da linguística e até mesmo da história converge para sugerir que o paradigma tradicional iniciado por Descartes deixou, de algum modo, de se ajustar a seus resultados. Essa dificuldade de

122 M. Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wis., 1959), pp. 537-38, 570.

ajuste também é tornada cada vez mais aparente pelo estudo histórico da ciência, a que está dirigida aqui, necessariamente, a maior parte da nossa atenção.

Nenhuma dessas áreas disciplinares geradoras de crise produziu até agora uma alternativa viável para o paradigma epistemológico tradicional. No entanto, elas começam a sugerir o que serão algumas das características que essa alternativa paradigmática terá. Eu, por exemplo, estou agudamente consciente das dificuldades criadas quando digo que quando Aristóteles e Galileu olhavam para pedras que balançavam, o primeiro via uma queda sendo contida e o segundo via um pêndulo. De uma forma ainda mais fundamental, as mesmas dificuldades se apresentam por meio das frases que abrem esta seção: 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 tornar significativas afirmações que, pelo menos, se assemelhem a elas. O que ocorre durante uma revolução científica não é inteiramente redutível a uma reinterpretação de dados individuais e estáveis. Um pêndulo não é uma pedra que cai, nem o oxigênio é ar desflogistizado. Consequentemente, os dados que os cientistas coletam a partir desses objetos diferentes são, como veremos logo à frente, eles mesmos diferentes. O que tem ainda maior importância é que o processo pelo qual tanto o indivíduo quanto a comunidade fazem a transição da queda contida para o pêndulo – ou do ar desflogistizado para o oxigênio – de modo algum se assemelha com uma interpretação. Como poderia se assemelhar a uma interpretação na ausência de dados fixos para o cientista interpretar? No lugar de ser um intérprete, o cientista que interioriza um novo paradigma se parece com a pessoa que usa lentes invertidas. Confrontando-se com a mesma constelação de objetos que antes – e sabendo que faz isso – o cientista, não obstante, encontra-a totalmente transformada em muitas de suas particularidades.

Nenhuma dessas considerações têm a intenção de indicar que os cientistas não interpretem observações e dados de um modo que lhes é próprio. Pelo contrário. Galileu interpretou observações sobre o pêndulo. Aristóteles interpretou observações sobre pedras em queda. Musschenbroek interpretou observações sobre uma garrafa d'água carregada de eletricidade. Franklin interpretou observações sobre um condensador. Mas cada uma dessas interpretações pressupôs um paradigma. Elas eram partes da ciência normal, um empreendimento que, como já vimos, visa a refinar, estender e articular um paradigma que já existe. A Seção III proporcionou

muitos exemplos em que a interpretação exerceu um papel central. Aqueles exemplos tipificam a vasta maioria da pesquisa científica. Em decorrência de um paradigma aceito, em cada um deles o cientista sabia o que era um dado, sabia quais instrumentos poderiam ser usados para apreendê-lo, e também sabia que conceitos eram relevantes para a sua interpretação. Dado um paradigma, a interpretação de dados é central para o empreendimento que os explora.

Mas este empreendimento interpretativo – e esse foi o tema do penúltimo parágrafo – só pode articular um paradigma. Não pode revisá-lo. Os paradigmas não são de modo algum passíveis de revisão pela ciência normal. Ao contrário, como já vimos, a ciência normal leva apenas ao reconhecimento de anomalias e crises. E as anomalias e crises são encerradas por um evento relativamente repentino e desestruturado que se assemelha a uma conversão do padrão perceptivo visual [*Gestalt switch*]. Os cientistas geralmente falam que “*de repente tudo ficou claro*” em uma charada até então obscura, ou que “*o clarão de um relâmpago iluminou*” essa charada e fez com que seus componentes fossem vistos de uma nova maneira, permitindo pela primeira vez a sua solução. Em outras ocasiões, a iluminação relevante chega durante o sono.¹²³ Nenhum sentido habitual do termo *interpretação* ajusta-se a esses relâmpagos de intuição por meio dos quais nasce um novo paradigma. Essas intuições dependem da experiência obtida com o paradigma velho. Falo tanto da experiência anômala quanto da congruente. No entanto, tais intuições não estão vinculadas logicamente àquela experiência, nem expressam conexões que correspondam a cada particularidade daquela experiência, como seria o caso de uma interpretação. Pelo contrário, as intuições a que me refiro sintetizam grandes porções daquela experiência e as transformam no agregado experiencial muito diferente que vai, a partir daí, vincular-se gradativamente ao novo paradigma – mas não ao paradigma velho.

Para aprender mais sobre o que essas experiências podem ser, voltemos por um momento a Aristóteles, Galileu e o pêndulo. Que dados a interação entre seus diferentes paradigmas e seus ambientes comuns torna acessíveis a cada um deles? Vendo a queda contida o aristotélico iria medir – ou pelo menos discutir; o aristotélico raramente media – o peso da pedra, a altura vertical a que a pedra

123 [Jacques] Hadamard, *Subconscient, intuition, et logique dans la recherche scientifique* (Conférence faite au Palais de la Découverte le 8 Décembre 1945 [Alençon, n. d.]), pp. 7-8. Uma exposição muito mais completa – embora restrita exclusivamente às inovações matemáticas – é a obra do mesmo autor *The Psychology of Invention in the Mathematical Field* (Princeton, 1949).

foi alçada e o tempo requerido para atingir o repouso. Junto com a resistência do meio, tais foram as categorias conceituais desenvolvidas pela ciência aristotélica para lidar com um corpo em queda.¹²⁴ A ciência normal guiada por elas não poderia ter produzido as leis que Galileu descobriu. Ela só poderia – e por um outro caminho o fez – ter levado à série de crises a partir das quais emergiu a concepção galileana da pedra balançando. Galileu viu a pedra balançando de modo muito diferente como resultado daquelas crises e de ainda outras mudanças intelectuais: o trabalho de Arquimedes sobre corpos flutuantes tornou o meio algo não essencial; a teoria do ímpeto fez do movimento algo simétrico e duradouro; o neoplatonismo dirigiu a atenção de Galileu para a forma circular do movimento.¹²⁵ Assim, ele só mediu o peso, o raio, o deslocamento angular e o tempo de cada oscilação. Esses foram precisamente os dados que podiam ser interpretados para produzir as leis galileanas do pêndulo. Nesse caso, a interpretação mostrou-se quase desnecessária. Dados os paradigmas de Galileu, as regularidades de tipo pendular tornavam-se acessíveis quase à primeira vista. De que outro modo poderíamos explicar a descoberta de Galileu segundo a qual o período da oscilação do bulbo do pêndulo é inteiramente independente da amplitude da oscilação – uma descoberta que a ciência normal que brotou do próprio Galileu teve que erradicar, e que hoje praticamente não somos capazes de documentar? Regularidades que não poderiam ter existido para um aristotélico – e que, de fato, não são exemplificadas com precisão pela natureza em nenhum lugar – foram consequências da experiência imediata da pessoa que viu a pedra oscilando do mesmo modo que Galileu.

Talvez esse nosso exemplo não passe de imaginação, já que os aristotélicos não deixaram nenhum registro de discussões sobre pedras balançando. No marco de seu paradigma isso era um fenômeno extraordinariamente complexo. Mas os aristotélicos discutiram o caso mais simples de pedras caindo sem que houvesse algum embaraço incomum. E podemos ver que as mesmas diferenças de visão estão presentes nessa discussão. Contemplando uma pedra em queda, Aristóteles via uma mudança de estado ao invés de um processo. Para ele, as medidas relevantes eram, portanto, a distância total coberta e o tempo total decorrido. Esses parâmetros não produzem aquilo que chamaríamos velocidade, mas velocidade

124 T. S. Kuhn, “A Function for Thought Experiments”, in *Mélanges Alexandre Koyré*, ed. R. Taton e I. B. Cohen, a ser publicado pela Hermann (Paris) em 1963.

125 A. Koyré, *Études Galiléennes* (Paris, 1939), I, pp. 46-51; e “Galileo and Plato”, *Journal of the History of Ideas*, IV (1943), pp. 400-428.

média.¹²⁶ Similarmente – porque a pedra era impelida por sua própria natureza para atingir seu ponto final de repouso –, Aristóteles via o relevante parâmetro da distância, em qualquer instante da duração do movimento, como a distância para o ponto final, no lugar da distância desde a origem do movimento.¹²⁷ Esses parâmetros conceituais subjazem e dão sentido a quase todas as bem conhecidas “leis do movimento”. No entanto, em parte por meio do paradigma do ímpeto e em parte por meio de uma doutrina conhecida como a latitude das formas, a crítica desenvolvida pela escolástica mudou a maneira de ver o movimento. A pedra movida pelo ímpeto ganhava cada vez mais ímpeto na medida em que retrocedia em relação a seu ponto de partida. Distância de – em vez de distância para – tornou-se, portanto, o parâmetro relevante. Ademais, a noção aristotélica de velocidade foi bifurcada pelos escolásticos em conceitos que, logo depois de Galileu, se tornaram nossas velocidade média e velocidade instantânea. Mas, quando vista através dos paradigmas de que essas concepções eram parte, a pedra caindo – como o pêndulo – exibia as leis que a governavam quase por inspeção. Galileu não foi uma das primeiras pessoas a sugerir que as pedras caem com um movimento uniformemente acelerado.¹²⁸ Além disso, ele teria desenvolvido seu teorema sobre esse tópico – juntamente com muitas das suas consequências – antes que fizesse os experimentos com o plano inclinado. Tal teorema foi só mais uma regularidade de toda uma rede de novas regularidades acessíveis ao gênio no mundo – mundo conjuntamente determinado pela natureza e pelos paradigmas – em que Galileu e seus contemporâneos cresceram. Vivendo naquele mundo, Galileu ainda poderia explicar, quando lhe foi oportuno, por que Aristóteles vira o que viu. No entanto, o conteúdo imediato da experiência de Galileu com as pedras em queda não foi o mesmo da experiência de Aristóteles.

Como é de se esperar, de modo algum está clara a necessidade de que nos preocupemos tanto com a “experiência imediata”. Isto é, de modo algum está clara a necessidade de que nos preocupemos com os aspectos perceptivos que um paradigma põe em tal destaque que eles manifestam suas regularidades quase por inspeção. Tais aspectos devem obviamente mudar quando mudam os comprometimentos do cientista com os paradigmas. Mas eles estão longe daquilo que em geral temos em mente quando falamos dos dados crus ou da experiência bruta de que, alegadamente, procede a

126 Kuhn, “A Function for Thought Experiments”, in *Mélanges Alexandre Koyré* (ver nota 124 para a referência completa).

127 Koyré, *Études...*, II, pp. 7-11.

128 Clagett, *op. cit.*, caps. iv, vi e ix.

investigação científica. Talvez a experiência imediata devesse ser posta de lado devido à sua fluidez. Em vez disso, talvez devêssemos discutir as operações concretas e as mensurações que o cientista realiza em seu laboratório. Ou talvez a análise devesse ser conduzida a uma distância ainda maior do imediatamente dado. Ela talvez devesse, por exemplo, ser conduzida em termos de alguma linguagem observacional neutra: uma linguagem projetada para se adequar às impressões retiniais que mediatizam aquilo que o cientista vê. Somente seguindo um desses caminhos podemos ter a esperança de encontrar um reino em que a experiência volte a ser estável de uma vez por todas. Um reino em que o pêndulo e a queda contida não são percepções diferentes, mas diferentes interpretações dos dados inequívocos proporcionados pela observação de uma pedra que balança.

Mas a experiência sensorial é fixa e neutra? As teorias são simplesmente interpretações artificiais de dados fixos? O ponto de vista epistemológico que mais frequentemente orientou a filosofia ocidental nos últimos três séculos decreta um imediato e inequívoco *sim!* Na ausência de uma alternativa desenvolvida, acho impossível renunciar inteiramente a esse ponto de vista. Contudo, ele já não funciona eficazmente. Nos dias de hoje, parecem-me vãs as tentativas de fazê-lo funcionar com eficiência por meio da introdução de uma linguagem observacional neutra. As operações e mensurações que um cientista empreende no laboratório não são “o dado” da experiência mas, mais precisamente, “o coligido com dificuldade”. Elas não são aquilo que o cientista vê – pelo menos não antes que sua pesquisa esteja bem avançada e a sua atenção esteja focalizada. Elas são mais especificamente indicações concretas do conteúdo de percepções mais elementares. Como tais, elas são selecionadas para exame cuidadoso só porque prometem uma oportunidade para a elaboração proveitosa de um paradigma aceito. Muito mais claramente que a experiência imediata de que em parte derivam, as operações e as mensurações são paradigma-determinadas. A ciência não se ocupa de todas as manipulações laboratoriais possíveis. Em vez disso, a ciência seleciona aquelas manipulações de laboratório que são relevantes para a justaposição de um paradigma com a experiência imediata que, por sua vez, foi até certo ponto determinada pelo próprio paradigma. Como resultado disso, cientistas com diferentes paradigmas engajam-se em diferentes manipulações de laboratório concretas. As mensurações que são feitas a propósito do pêndulo não são as mensurações relevantes no caso da queda contida. Também não são as operações relevantes para a elucidação das propriedades

do oxigênio uniformemente as mesmas que as operações requeridas na investigação das características do ar desflogistizado.

Talvez ainda venha a ser formulada uma linguagem observacional pura. Mas, três séculos depois de Descartes nossa esperança de que isso ocorra ainda depende exclusivamente de uma teoria da percepção e da mente. E a moderna experimentação psicológica está rapidamente proliferando fenômenos com que a teoria cartesiana já não consegue lidar. O pato-coelho mostra que duas pessoas com as mesmas impressões retiniais podem ver coisas diferentes. As lentes inversoras mostram que dois homens com impressões retiniais diferentes podem ver a mesma coisa. A psicologia proporciona uma grande quantidade de outras evidências para o mesmo efeito, e as dúvidas que derivam disso são prontamente reforçadas pela história das tentativas de formular uma linguagem de observação genuína. Nenhuma tentativa atual feita para atingir tal fim sequer chegou perto de uma linguagem de perceptos puros universalmente aplicável. E aquelas tentativas que mais se aproximaram de desenvolver uma linguagem dessa ordem reforçam poderosamente várias das principais teses desse ensaio. Desde o início, elas pressupõem um paradigma tirado de uma teoria científica corrente, ou de alguma fração do discurso cotidiano. A seguir, elas tentam expurgar esse paradigma de todos os termos não lógicos e não perceptuais. Em uns poucos reinos do discurso esse esforço chegou a avançar bastante, com resultados fascinantes. Não há dúvida de que vale a pena realizar esforços desse tipo. Mas o seu resultado é uma linguagem que – como as linguagens empregadas nas ciências – contém uma multidão de suposições sobre a natureza, parando de funcionar quando essas expectativas são violadas. Nelson Goodman aponta exatamente para isso ao descrever os objetivos do seu *The Structure of Appearance*: “É providencial que nada mais esteja em questão [do que fenômenos que sabemos que existem]. Isso porque a noção de casos 'possíveis' – de casos que não existem mas que poderiam ter existido – está longe de ser clara.”¹²⁹ Nenhuma linguagem que assim se restringe para expressar um mundo inteiramente conhecido por antecipação pode produzir meros

129 N. Goodman, *The Structure of Appearance* (Cambridge, Mass., 1951), pp. 4-5. Essa passagem merece ser transcrita mais extensamente: “Se todos e tão somente os residentes de Wilmington em 1947 que pesam entre 80 e 82 kg têm cabelo ruivo, então 'ruivo residente em Wilmington em 1947' e 'residente de Wilmington em 1947 pesando entre 80 e 82 kg' podem ser integrados em uma definição construcional A questão se 'poderia ter havido' alguém a quem um desses predicados poderia ser aplicado mas não o outro não se sustenta ... uma vez que já determinamos que não há uma pessoa assim É providencial que nada mais esteja em questão, já que a noção de casos 'possíveis' – de casos que não existem mas que poderiam ter existido – está longe de ser clara.”

informes neutros e objetivos sobre *o dado*. A investigação filosófica ainda não produziu sequer uma sugestão de como seria uma linguagem capaz de fazer isso.

Nessas circunstâncias, podemos pelo menos suspeitar que os cientistas estão certos em princípio, assim como na prática, quando eles tratam oxigênio e pêndulos – e talvez também átomos e elétrons – como ingredientes fundamentais da sua experiência imediata. Como resultado da experiência paradigma-estruturada da espécie, da cultura e, finalmente, da profissão, o mundo do cientista acabou por se povoar de planetas e pêndulos, condensadores e agregados minerais, entre muitos outros conjuntos de espécie similar. Comparados com esses objetos da percepção, a leitura de medidores e as impressões retiniais são construtos intrincados a que a experiência tem acesso direto apenas quando o cientista – para os propósitos específicos da sua pesquisa – manipula uma e outra para que produzam tal efeito. Isso não é sugerir que os pêndulos, por exemplo, são as únicas coisas que um cientista possivelmente veria ao olhar para uma pedra balançando.¹³⁰ Mas é sugerir que o cientista que olha para uma pedra balançando não possa ter experiência alguma que seja, em princípio, mais elementar que ver um pêndulo. A alternativa não é alguma hipotética visão *fixa*. A alternativa só pode ser visão através de um outro paradigma: um paradigma que torne a pedra balançando algo diferente.

Tudo isso pode parecer mais razoável se lembrarmos de novo que nem o cientista nem o leigo aprendem a ver o mundo em parcelas ou item por item. Exceto quando todas as categorias conceituais e todas as categorias manipulativas já foram preparadas com antecedência – por exemplo para a descoberta de um elemento transurânico adicional ou para avistar uma nova casa –, tanto o cientista quanto o leigo separam áreas conjuntas inteiras do fluxo de experiência. A criança que transfere a palavra 'mamãe' de todos os humanos para todas as mulheres e a seguir apenas para a sua mãe, não está apenas aprendendo o que significa 'mamãe' ou quem é sua mãe. Simultaneamente, ela está aprendendo algumas das diferenças entre homens e mulheres, assim como está aprendendo alguma coisa sobre as maneiras como, entre todas as mulheres, apenas uma vai ter determinadas formas de comportamento para com ela. Suas reações, expectativas e crenças – de fato, boa parte do seu mundo percebido – mudam correspondentemente. Pela mesma razão, os copernicanos que negaram ao sol o seu tradicional título de 'planeta' não estavam

¹³⁰ Já observamos que os membros de uma outra comunidade científica poderiam ver nisso uma queda contida.

apenas aprendendo o que significava um planeta, ou o que era o sol. Ao invés disso, eles estavam mudando o significado de 'planeta', de modo que ele pudesse continuar a fazer distinções úteis em um mundo em que todos os corpos celestes – e não só o sol – estavam sendo vistos de um modo diferente do modo como tinham sido vistos até então. A mesma observação poderia ser feita sobre qualquer um dos nossos exemplos anteriores. Ver oxigênio no lugar de ar desflogistizado, ver o condensador no lugar da garrafa de Leyden, ou ver o pêndulo no lugar da queda contida era apenas uma parcela de uma conversão integradora de um grande número de fenômenos químicos, elétricos e dinâmicos inter-relacionados na constituição da visão do cientista. Os paradigmas determinam amplas áreas da experiência ao mesmo tempo.

Entretanto, é só depois que a experiência foi determinada desse modo que a busca por uma definição operacional ou por uma linguagem observacional pura pode começar. O cientista que pergunta quais mensurações ou impressões retiniais fazem do pêndulo o que ele é, já deve ser capaz de reconhecer um pêndulo quando vê um. Se em vez disso ele visse uma queda contida, sua pergunta nem poderia ser feita. E se ele visse um pêndulo, mas o visse do mesmo modo que viu um diapasão ou uma roda oscilatória de relógio, sua pergunta não poderia ser respondida. Pelo menos não poderia ser respondida da mesma maneira, porque já não seria a mesma pergunta. Portanto – embora elas sejam sempre legítimas e são às vezes extraordinariamente produtivas –, as questões sobre impressões retiniais ou sobre as consequências de manipulações específicas de laboratório pressupõem um mundo que já foi perceptiva e conceitualmente subdividido de certa maneira. Em certo sentido, tais questões são componentes da ciência normal, já que dependem da existência de um paradigma. E resulta receberem respostas diferentes no caso de uma mudança de paradigma.

Para concluir esta seção, vamos daqui por diante deixar de lado as impressões retiniais e novamente concentrarmos nossa atenção nas operações de laboratório que municiam o cientista com indicadores concretos, ainda que fragmentários, daquilo que ele já viu. Um sentido em que tais operações de laboratório mudam com os paradigmas já foi observado repetidamente. Depois de uma revolução científica, muitas das antigas manipulações e mensurações tornam-se irrelevantes e outras diferentes se põem em seu lugar. Não se aplicam ao oxigênio todos os mesmos testes aplicados ao ar desflogistizado. Mas mudanças desse tipo nunca são totais. O que quer que ele possa estar vendo, depois de uma revolução o cientista

ainda está examinando o mesmo mundo. Ademais – ainda que ele possa tê-los empregado anteriormente de modo diferente –, muito da sua linguagem e a maior parte de seus instrumentos de laboratório ainda são os mesmos que eram antes. Como resultado, a ciência pós-revolucionária invariavelmente inclui muitas das mesmas manipulações – executadas com os mesmos instrumentos e descritas nos mesmos termos – que sua predecessora pré-revolucionária. Se essas manipulações renitentes chegaram a sofrer alguma mudança, essa modificação deve residir em suas relações com o novo paradigma ou em seus resultados concretos. Vou sugerir agora – pela introdução de um último e novo exemplo – que esses dois tipos de mudança ocorrem. Examinando o trabalho de Dalton e seus contemporâneos, vamos descobrir que uma mesma operação – quando ela se conecta à natureza através de um novo paradigma – pode se tornar o indicador de um aspecto muito diferente da regularidade da natureza. Ademais, veremos que em seu novo papel a velha manipulação vai ocasionalmente produzir resultados concretos diferentes.

No decorrer de boa parte do século dezoito e entrando no século dezenove, os químicos europeus acreditaram quase universalmente que os átomos elementares de que consistiam todas as espécies químicas eram mantidos juntos por forças de afinidade mútua. Assim, uma certa quantidade de prata mantém-se aglutinada por causa das forças de afinidade entre os corpúsculos de prata.¹³¹ De acordo com a mesma teoria, a prata dissolvia-se em ácido (ou o sal se dissolvia na água) porque as partículas de ácido atraíam as partículas de prata (ou as partículas de água atraíam as partículas de sal) mais fortemente do que as partículas de ambos os solutos atraíam-se mutuamente. E ainda: o cobre dissolver-se-ia numa solução de prata e precipitaria a prata porque a afinidade do cobre com o ácido era maior que a afinidade do ácido com a prata. Uma grande quantidade de outros fenômenos era explicada do mesmo modo. No século dezoito, a teoria da afinidade eletiva era um paradigma da química admirável e amplamente – às vezes até mesmo frutiferamente – desenvolvido para projetar e analisar a experimentação química.¹³²

A teoria da afinidade, contudo, traçou a linha demarcatória entre as misturas físicas e os compostos químicos de um modo que deixou de ser familiar desde a assimilação do trabalho de Dalton. Os químicos do século dezoito reconheciam dois tipos de processos. Considerava-se que tinha ocorrido uma união química quando a

¹³¹ Mesmo depois de Lavoisier esses corpúsculos eram eles mesmos pensados como sendo compostos de partículas ainda mais elementares.

¹³² H. Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique* (Paris, 1930), pp. 34-68.

mistura produzia calor, luz, efervescência ou alguma outra coisa do mesmo tipo. Se, por outro lado, as partículas presentes na mistura pudessem ser distinguidas a olho nu ou separadas mecanicamente, tinha-se apenas mistura física. Mas em um grande número de casos intermediários – sal na água, amálgamas, vidro, oxigênio na atmosfera e assim por diante – esses critérios toscos eram de pouco uso. Guiada por seu paradigma, a maioria dos químicos via todo esse leque intermediário como químico, já que os processos de que esse leque se compunha eram todos governados por forças do mesmo tipo. Sal na água ou oxigênio no nitrogênio eram exemplos de combinação química, do mesmo modo que a combinação produzida pela oxidação do cobre. Os argumentos para que se vissem as soluções como compostos eram muito fortes. A própria teoria da afinidade era bem atestada. Ademais, a formação de um composto explicava a homogeneidade observada em uma solução. Se, por exemplo, o oxigênio e o nitrogênio fossem apenas misturados – e não combinados na atmosfera – então o gás mais pesado deveria acomodar-se no fundo. Dalton – que considerava que a atmosfera fosse uma mistura – nunca foi capaz de explicar satisfatoriamente por que o oxigênio não conseguia fazer isso. A assimilação da sua teoria atômica acabou criando uma anomalia onde antes não havia qualquer anomalia.¹³³

Alguém poderia ser tentado a dizer que os químicos que viam soluções como compostos diferiam de seus sucessores apenas em matéria de definição. Em certo sentido, esse pode ter sido o caso. Mas esse não é o sentido que faz das definições meras conveniências convencionais. No século dezoito, as misturas não eram inteiramente distinguidas dos compostos pelos testes operacionais – e talvez nem pudessem ter sido. Mesmo se os químicos tivessem procurado por tais testes, isso não seria senão a busca de critérios que fizessem da solução um composto. A distinção mistura-composto era parte de seu paradigma – parte do modo como eles viam todo o seu campo de investigação – e, como tal, ela era anterior a qualquer teste de laboratório em particular. Ainda que a distinção mistura-composto não fosse anterior à experiência da química como um todo.

Mas, enquanto a química era vista dessa maneira, os fenômenos químicos exemplificavam leis diferentes daquelas que emergiram com a assimilação do novo paradigma de Dalton. Em particular, enquanto as soluções continuaram compostos, nenhum montante de experimentação química poderia, por si mesmo, produzir a lei das proporções fixas. No final do século dezoito era

¹³³ *Ibid.*, pp. 124-29, 139-48. Para Dalton, ver Leonard K. Nash, *The Atomic-Molecular Theory* ("Harvard Case Histories in Experimental Science", Case 4; Cambridge, Mass., 1950), pp. 14-21.

amplamente sabido que *alguns* compostos comumente continham proporções fixas segundo o peso de seus elementos constituintes. Para algumas categorias de reações, o químico alemão Richter chegou inclusive a observar novas regularidades, que agora são abrangidas pela lei dos equivalentes químicos.¹³⁴ Mas nenhum químico fez uso dessas regularidades, exceto em receitas. E nenhum deles – pelo menos até quase o final do século – pensou em generalizá-las. Dados os contraexemplos óbvios – como o vidro e o sal na água –, nenhuma generalização seria possível sem o abandono da teoria da afinidade e sem a reconceituação dos limites do domínio do químico. Tal consequência tornou-se explícita no finalzinho do século em um debate entre os químicos franceses Proust e Berthollet. O primeiro afirmava que todas as reações químicas ocorriam em proporção fixa. O segundo dizia que não. Cada um coletou impressionante evidência experimental para a sua concepção. Não obstante, o que cada um falava não podia produzir qualquer efeito sobre o outro, e o seu debate permaneceu completamente inconclusivo. Onde Berthollet via um composto que poderia variar proporcionalmente, Proust via só uma mistura física.¹³⁵ Para resolver essa controvérsia não poderia ser relevante nem o experimento nem uma mudança na convenção definicional. As duas pessoas estavam fundamentalmente intercambiando projeções mutuamente incompatíveis, do mesmo modo que Galileu e Aristóteles.

Essa era a situação durante os anos em que John Dalton empreendeu a investigação que acabaria por levar à sua famosa teoria química atômica. Mas até os mais avançados estágios dessa investigação, Dalton nem era um químico e nem estava interessado na química. Em vez disso, ele era um meteorologista investigando os, para ele, problemas da absorção de gases pela água e a absorção da água pela atmosfera. Em parte porque seu treinamento deu-se em uma especialidade diferente, e em parte por causa de seu próprio trabalho naquela especialidade, ele abordou aqueles problemas com um paradigma diferente do paradigma dos químicos contemporâneos. Em particular, ele viu a mistura de gases ou a absorção de um gás pela água como um processo físico. Um processo em que as forças de afinidade não exerciam papel algum. Para ele, portanto, a homogeneidade que se observa nas soluções era um problema. Mas um problema que ele imaginava poder resolver se pudesse determinar em suas misturas experimentais os tamanhos e pesos relativos das várias partículas atômicas. Foi para determinar esses

134 J. R. Partington, *A Short History of Chemistry* (2d ed.; London, 1951), pp. 161-63.

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

tamanhos e pesos que Dalton finalmente voltou-se para a química, supondo desde o início que, no restrito leque de reações que ele achava que eram químicas, os átomos só poderiam combinar-se um a um ou em alguma outra razão simples de números inteiros.¹³⁶ Essa suposição natural permitiu-lhe determinar os tamanhos e pesos das partículas elementares, mas também fez da lei da proporção constante uma tautologia. Para Dalton, qualquer reação em que os ingredientes não entram em proporção fixa não poderia ser, por isso mesmo, um processo puramente químico. Uma lei que a experimentação não poderia ter estabelecido antes do trabalho de Dalton tornou-se – depois da aceitação desse trabalho – um princípio que nenhum conjunto específico de mensurações químicas poderia abalar. Como resultado daquele que é, talvez, nosso exemplo mais completo de uma revolução científica, as mesmas manipulações químicas assumiram um relacionamento com a generalização química muito diferente daquele que tinham tido antes.

Nem é preciso dizer que as conclusões de Dalton foram amplamente atacadas quando de seu primeiro anúncio. Berthollet, em particular, jamais convenceu-se. Considerando a natureza da controvérsia, ele não necessariamente deveria ter-se convencido. Mas, para a maioria dos químicos o novo paradigma mostrou-se convincente precisamente naquilo que o paradigma de Proust não tinha sido. Isso porque o novo paradigma de Dalton tinha implicações de alcance muito mais amplo do que o de ser apenas um novo critério para distinguir uma mistura de um composto. Se, por exemplo, os átomos só podiam combinar-se em razões simples de números inteiros, então um reexame dos dados químicos existentes deveria explicitar exemplos de proporções múltiplas e de proporções fixas. Os químicos pararam de escrever que dois óxidos de, digamos, carbono continham 56 por cento e 72 por cento de oxigênio por peso. Em vez disso, eles passaram a escrever que um peso de carbono combinaria tanto com 1.3 quanto com 2.6 pesos de oxigênio. Quando os resultados das antigas manipulações foram registrados dessa forma, uma razão de 2:1 saltou aos olhos. Isso ocorreu na análise de muitas reações bem conhecidas, e de novas reações também. Em acréscimo, o paradigma de Dalton tornou possível assimilar o trabalho de Richter e ver sua plena generalidade. Ele também sugeriu novos experimentos, particularmente os de Gay-Lussac sobre a combinação de volumes. Esses novos experimentos, por sua vez, produziram ainda outras regularidades. Regularidades com que os

136 L. K. Nash, "The Origin of Dalton's Chemical Atomic Theory", *Isis*, XLVII (1956), 101-16.

químicos jamais sonharam. O que os químicos tomaram de Dalton não foram novas leis experimentais, mas uma nova maneira de praticar a química. O próprio Dalton a denominara “*novo sistema de filosofia química*”. Ela mostrou ser frutífera tão rapidamente que só uns poucos entres os químicos mais velhos da França e da Grã-Bretanha foram capazes de lhe opor resistência.¹³⁷ Como resultado, os químicos passaram a viver em um mundo em que as reações químicas comportavam-se de um modo muito diferente da maneira como se tinham comportado anteriormente.

Na medida em que tudo isso teve prosseguimento, ocorreu uma outra mudança típica e muito importante. Aqui e acolá os próprios dados numéricos da química começaram a mudar. Quando Dalton começou a buscar, na literatura da química, dados que sustentassem sua teoria física, ele encontrou alguns registros de reações que concordavam com ela. Mas ele dificilmente poderia evitar o encontro de outros que não se ajustavam à sua teoria. As próprias medidas obtidas por Proust sobre os dois óxidos de cobre produziram uma razão de 1.47:1 para o peso do oxigênio, no lugar da razão 2:1 exigida pela teoria química. E Proust é precisamente a pessoa de quem se poderia esperar obter a razão proporcional daltoniana.¹³⁸ Isto é, ele foi um admirável experimentador e sua concepção da relação entre misturas e compostos estava muito próxima da concepção de Dalton. Mas é trabalhoso fazer a natureza ajustar-se ao paradigma. Por isso as charadas da ciência normal são tão desafiadoras, e também por que mensurações empreendidas sem um paradigma tão raramente levam a alguma conclusão. Portanto, os químicos não poderiam simplesmente aceitar a teoria de Dalton com base na evidência. Boa parte dela ainda era negativa. Em vez disso, mesmo depois de aceitar a teoria, eles tiveram que martelar a natureza até que ela se ajustasse ao desenho num processo que, no caso, duraria quase o período de uma nova geração. Quando isso foi feito, mesmo a composição porcentual de compostos bem conhecidos ficou diferente. Os próprios dados mudaram. Esse é o último dos sentidos em que nós podemos ter vontade de dizer que depois de uma revolução os cientistas trabalham em um mundo diferente.

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

138 Para Proust, ver Meldrum, “Berthollet's Doctrine of Variable Proportions”, *Manchester Memoirs*, LIV (1910), p. 8. A história detalhada das mudanças graduais nas medidas da composição química e dos pesos atômicos ainda tem que ser escrita, mas Partington, *op. cit.* fornece muitas sugestões úteis para ela.

XI. A Invisibilidade das Revoluções

Ainda devemos perguntar como as revoluções se encerram. Antes disso, no entanto, acho que precisamos fazer uma última tentativa de reforçar a convicção da própria existência das revoluções. Até o momento eu tentei mostrar as revoluções por meio de ilustrações. Os exemplos poderiam ser multiplicados até enjoarmos. Todavia, claramente, a maioria desses exemplos – que foram selecionados pela sua familiaridade – não tem sido vista costumeiramente como revoluções, mas como adições ao conhecimento científico. Essa mesma concepção poderia ser extraída de quaisquer outras ilustrações que adicionássemos, mas tais acréscimos já não teriam qualquer efeito. Então sugiro que há razões muito boas para que as revoluções tenham-se mostrado quase invisíveis. Tanto os cientistas quanto os leigos tiram boa parte da imagem que têm da atividade científica criativa de uma fonte legítima que disfarça sistematicamente – em parte por importantes razões funcionais – a existência e o significado das revoluções científicas. Só quando a natureza dessa autoridade é reconhecida e analisada pode-se ter a esperança de dar plena efetividade ao exemplo histórico. Ademais – embora esse ponto só possa ser inteiramente desenvolvido na última seção –, a análise que se impõe agora vai começar a indicar um dos aspectos do trabalho científico que mais claramente o distingue de qualquer outra ocupação criativa, com exceção, talvez, da teologia.

Como fonte de autoridade eu tenho em mente principalmente os manuais científicos, juntamente com os trabalhos de popularização e os trabalhos filosóficos modelados naqueles manuais. Essas três categorias têm uma coisa em comum.¹³⁹ Elas reportam-se a um corpo já articulado de problemas, dados e teoria. Mais comumente, reportam-se ao conjunto particular de paradigmas com que a comunidade científica está comprometida no momento em que são escritos. Os próprios livros didáticos ou manuais visam a comunicar o vocabulário e a sintaxe de uma linguagem científica contemporânea. As publicações de divulgação científica popular tentam descrever as mesmas aplicações presentes nos manuais em uma linguagem mais próxima da vida cotidiana. A filosofia da ciência – particularmente aquela do mundo de língua inglesa –, por sua vez, analisa a estrutura lógica do mesmo corpo estabelecido de

¹³⁹ Considero que até recentemente não estavam disponíveis quaisquer outras fontes significativas de informação sobre a ciência, à exceção daquela propiciada pela prática da investigação.

conhecimento científico. Embora um tratamento mais amplo tivesse que lidar com as distinções muito reais entre esses três gêneros, são suas similaridades que mais nos interessam aqui. Os três registram o *produto* estável de revoluções científicas passadas, expondo assim as bases da tradição científico-normal corrente. Para preencher sua função, eles não precisam fornecer informação autêntica sobre o itinerário pelo qual tais bases foram inicialmente reconhecidas e, depois, abraçadas pela profissão. Pelo menos no caso dos manuais, há até mesmo boas razões para que eles devam ser sistematicamente mistificadores nesses assuntos.

Apontamos na Seção II que uma crescente confiança nos manuais ou seus equivalentes era uma concomitante invariável da emergência de um primeiro paradigma em qualquer campo da ciência. A seção que conclui esse ensaio vai argumentar que a dominação da ciência madura por tais textos diferencia significativamente seu padrão de desenvolvimento do padrão de desenvolvimento de outros campos. Para o momento, vamos dar por assentado que – numa extensão sem precedentes em outros campos – o conhecimento que tanto o leigo quanto o cientista têm da ciência baseia-se nos livros didáticos ou manuais e em outros tipos – poucos – de literatura derivada deles. Entretanto, por serem veículos pedagógicos para a perpetuação da ciência normal, os manuais têm que ser reescritos no todo ou em parte quando quer que mudem a linguagem, a estrutura de problematização e os padrões da ciência normal. Em resumo, os livros didáticos têm que ser reescritos na nova conjuntura que se segue a uma revolução científica. Uma vez reescritos, eles inevitavelmente disfarçam não só o papel das revoluções científicas que os produziu, mas também a própria existência dessas revoluções. A menos que tenha experimentado pessoalmente uma revolução durante o seu próprio tempo de vida, o sentido histórico do cientista ativo – e também do leigo que lê a literatura derivada do manual – estende-se apenas até o resultado da revolução mais recente em um certo campo científico.

Os manuais, assim, primeiro truncam a percepção que o cientista tem da história de sua disciplina. Depois, operam no sentido de oferecer um sucedâneo para aquilo que deletaram. É característica dos manuais conterem só uma pitada de história. Isso aparece num capítulo introdutório ou – como é mais frequente – em referências dispersas aos grandes heróis de uma época anterior. Com base nessas referências, estudantes e professores passam a se sentir como participantes de uma tradição histórica de longa duração. Todavia, a tradição – derivada do livro didático – à qual os cientistas chegam a

ter a sensação de pertencer é uma tradição que, de fato, nunca existiu. Por razões que são ao mesmo tempo óbvias e altamente funcionais, os manuais científicos – e um bom número de histórias da ciência mais antigas – referem-se apenas àquela parte do trabalho dos cientistas do passado que pode facilmente ser vista como contribuição à enunciação e à solução dos problemas paradigmáticos dos próprios livros didáticos atuais. Em parte por seleção e em parte por distorção, os cientistas de épocas anteriores estão implicitamente representados como se tivessem trabalhado sobre o mesmo conjunto de problemas e de acordo com o mesmo conjunto de cânones estabelecidos que a revolução mais recente na teoria e no método fez parecerem científicos. Não é de admirar que os manuais – e a tradição histórica implicada neles – têm que ser reescritos depois de cada revolução científica. E também não precisa causar espanto que, na medida em que os manuais são reescritos, a ciência volte a parecer altamente cumulativa. Claro que os cientistas não são o único grupo que tende a ver o passado de sua disciplina como se ele se desenvolvesse linearmente apenas para produzir a sua posição superior no presente. A tentação de escrever a história em retrospectiva está em toda parte e se repete o tempo todo. Mas os cientistas são afetados em maior escala pela tentação de reescrever a história, em parte porque os resultados da pesquisa científica não mostram qualquer dependência óbvia do contexto histórico da investigação e, em parte porque – exceto durante as crises e revoluções – a posição contemporânea do cientista parece ser muito segura. Um detalhamento histórico maior – quer do presente, quer do passado da ciência –, ou uma responsabilidade maior para com o detalhamento histórico que é apresentado só conseguiriam dar um *status* artificial para a singularidade, para o erro e para a confusão humanos. Por que dignificar aquilo que os melhores e mais persistentes esforços da ciência possibilitaram descartar? A depreciação do fato histórico está profundamente – e, o que também é provável, funcionalmente – impregnada na ideologia da profissão científica. Curiosamente, a mesma profissão que deposita o mais alto de todos os valores nos detalhes fatuais de todo tipo. Whitehead captou o espírito a-histórico da comunidade científica quando escreveu que “*uma ciência que hesita em esquecer seus fundadores está perdida*”. Em todo caso, ele não estava totalmente certo. As ciências – como qualquer outro empreendimento profissional – têm necessidade de seus heróis e da preservação de seus nomes. Parece auspicioso que no lugar de esquecer tais heróis os cientistas tenham sido capazes de esquecer seus trabalhos – ou de os revisar.

O resultado é uma tendência persistente em fazer a história da ciência parecer linear ou cumulativa. Essa tendência afeta os cientistas até mesmo quando eles avaliam sua própria investigação. Por exemplo, as três exposições conflitantes que Dalton fez a respeito do desenvolvimento de seu atomismo químico fazem parecer que ele estava interessado desde cedo exatamente naqueles problemas de combinações proporcionais dos elementos químicos cuja resolução o tornaria famoso posteriormente. De fato, aqueles problemas parecem ter-lhe ocorrido juntamente com suas soluções. E isso só ocorreria quando o seu próprio trabalho criativo já estava muito próximo de se completar.¹⁴⁰ O que todas as exposições de Dalton omitem são os efeitos revolucionários – quando transpostos para a química – de um conjunto de questões e conceitos que anteriormente se restringiam à física e à meteorologia. Foi isso que Dalton fez, e o resultado foi uma reorientação para a química. Uma reorientação que ensinou os químicos a fazer novas questões sobre velhos dados e deles tirar novas conclusões.

E ainda: Newton escreveu que Galileu tinha descoberto que a força de gravidade constante produz um movimento proporcional ao quadrado do tempo. De fato, o teorema cinemático de Galileu adquire essa forma quando integrado à matriz dos próprios conceitos dinâmicos de Newton. Mas Galileu não disse nada disso. Sua discussão sobre corpos em queda raramente fazem alusão a forças. Muito menos a uma força gravitacional uniforme que causasse a queda dos corpos.¹⁴¹ Ao dar a Galileu o crédito da resposta para uma pergunta que os paradigmas de Galileu não permitiam que fosse feita, o relato de Newton esconde o efeito de uma pequena mas revolucionária reformulação das questões que os cientistas passaram a fazer sobre o movimento. E também das respostas que os cientistas passaram a se dispor a aceitar. Mas é justamente esse tipo de mudança na formulação das perguntas e das respostas que conta – muito mais que a novidade das descobertas empíricas – para a transição da dinâmica aristotélica para a galileana, e para a transição da dinâmica galileana para a newtoniana. Ao camuflar tais mudanças, a tendência do livro didático em tornar linear o desenvolvimento da ciência oculta um processo que reside no coração dos mais significativos episódios do desenvolvimento científico.

140 L. K. Nash, "The Origins of Dalton's Chemical Atomic Theory", *Iris*, XLVII (1956), pp. 101-16.

141 Para a observação de Newton, ver Florian Cajori (ed.), *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World* (Berkeley, Calif., 1946), p. 21. Essa passagem deveria ser comparada com a própria discussão de Galileu em seu *Dialogues Concerning Two New Sciences*, trad. H. Crew e A. de Salvio (Evanston, Ill., 1946), pp. 154-76.

Cada qual dentro do contexto de uma determinada revolução, os exemplos precedentes mostram os primórdios de uma reconstrução da história que regularmente se finaliza nos textos da ciência pós-revolucionária. Todavia, muito mais está envolvido nessa finalização do que a multiplicação das interpretações enviesadas que ilustramos acima. Essas construções tendenciosas tornam invisíveis as revoluções. O arranjo nos textos do material que teve a sua visibilidade preservada implica um processo que, se existisse, negaria uma função para as revoluções. Tanto quanto possível, os livros didáticos tratam cada um dos vários experimentos, conceitos, leis e teorias da ciência normal corrente em separado e como que dispostos em uma sequência em que são apresentados um após o outro. Isso é feito porque seu objetivo é familiarizar rapidamente o estudante com aquilo que a comunidade científica contemporânea pensa que sabe. Do ponto de vista pedagógico essa técnica de apresentação é inquestionável. Mas quando combinada com o jeito geralmente a-histórico da escrita da ciência e com as eventuais narrativas tendenciosas – mas bem sistematizadas – descritas acima, é mais que provável que se produza a seguinte e avassaladora impressão: a ciência atingiu seu estado atual por meio de uma série de descobertas e invenções individuais que, quando reunidas, constituem o corpo moderno do conhecimento técnico especializado. A ordem de apresentação do livro didático implica que desde os primórdios do empreendimento científico os cientistas esforçaram-se para atingir os objetivos particulares que estão incorporados nos paradigmas da atualidade. Em um processo que se compara geralmente com a adição de tijolos na construção de um edifício, um a um os cientistas foram adicionando mais um fato, mais um conceito, mais uma lei e mais uma teoria ao corpo de informação que está armazenado no texto científico contemporâneo.

Mas esse não é o caminho pelo qual uma ciência se desenvolve. Muitas das charadas da ciência normal contemporânea só passaram a existir depois da revolução científica mais recente. São raras aquelas charadas que podem ser rastreadas retrospectivamente até o começo histórico da ciência em que elas ocorrem na atualidade. As gerações mais antigas enfrentaram seus próprios problemas, com seus próprios instrumentos e com seus próprios padrões de solução. E não foram só os problemas que mudaram. Toda a rede de fato e teoria que o paradigma do livro didático ajusta à natureza também mudou. A constância da composição química, por exemplo, é um mero fato experimental que os químicos poderiam ter descoberto por meio de experimentos realizados dentro de qualquer um dos mundos no

interior dos quais eles praticaram seu trabalho investigativo? Ou a constância da composição química é um elemento – e, no caso, um elemento indubitável – integrado a uma nova trama na associação de fato e teoria que Dalton entreteceu com a experiência química anterior, num processo que transformaria aquela experiência? Ou então, similarmente: a aceleração constante produzida por uma força constante é um mero fato que os estudiosos da dinâmica sempre procuraram, ou é uma resposta para uma questão que só foi levantada pela primeira vez dentro da teoria newtoniana e que essa teoria poderia responder com base no corpo de informação disponível antes mesmo que a questão fosse levantada?

Essas questões estão aqui sendo feitas a respeito daquilo que aparece na forma de fatos descobertos um a um na ordem de apresentação do livro didático. Mas, obviamente elas também têm implicações para aquilo que o manual apresenta na forma de teorias. Essas teorias, é claro, *ajustam-se aos fatos*. Mas isso só ocorre quando se transforma a informação disponível previamente em fatos que nem sequer existiam para o paradigma precedente. Isso significa que também as teorias não se desenvolvem passo a passo, para se ajustar a fatos que já estavam lá todo o tempo. Ao contrário, as teorias emergem juntamente com os fatos a que se ajustam de uma reformulação revolucionária da tradição científica precedente. Uma tradição precedente em que a relação cognitivo-mediada entre o cientista e a natureza não era a mesma.

Um último exemplo pode esclarecer essa descrição do impacto da exposição do livro didático sobre a nossa imagem do desenvolvimento científico. Todo texto básico de química deve discutir o conceito de elemento químico. Quando a noção é introduzida, quase sempre sua origem é atribuída ao químico do século dezessete Robert Boyle, em cujo livro *Sceptical Chymist* o leitor atento vai encontrar uma definição de 'elemento' muito próxima daquela hoje em uso. A referência à contribuição de Boyle conscientiza o principiante de que a química não começou com as sulfonamidas. Ademais, também lhe diz que uma das tarefas tradicionais do cientista é inventar conceitos desse tipo. Como parte do arsenal pedagógico que transforma uma pessoa num cientista, essa atribuição a Boyle é imensamente bem sucedida. Não obstante, ela ilustra uma vez mais o padrão histórico equivocado que ilude estudantes e leigos sobre a natureza do empreendimento científico.

De acordo com Boyle – que nisso estava totalmente certo – sua “definição” de elemento químico não era mais que uma paráfrase de um conceito químico tradicional. Boyle apresentou essa

“definição” apenas para argumentar que não existe uma coisa tal como um elemento químico. Então, como história, a versão que o manual dá da contribuição de Boyle é totalmente equivocada.¹⁴² É claro que tal equívoco é trivial, como qualquer outra representação errônea de dados. O que não é trivial, contudo, é a impressão da ciência que se alimenta quando esse tipo de equívoco é formulado e, a seguir, é embutido na estrutura técnica do livro didático. Do mesmo modo que os conceitos de 'tempo', 'energia', 'força' e 'partícula', o conceito de elemento é o tipo de ingrediente do manual didático que em geral sequer foi inventado ou descoberto. A definição de Boyle, em particular, pode ser rastreada regressivamente pelo menos até Aristóteles. E também pode ser rastreada progressivamente passando-se por Lavoisier até chegar aos textos modernos. No entanto, isso não quer dizer que a ciência possuiu o moderno conceito de elemento desde a antiguidade. Definições verbais como a de Boyle têm pouco conteúdo científico quando consideradas por si mesmas. Elas não são especificações lógicas de significado plenas – se é que isso existe. Elas estão muito mais perto de ser subsídios pedagógicos. Dentro de um manual ou de alguma outra apresentação sistemática, os conceitos científicos para os quais essas definições apontam só ganham significação plena quando relacionados com outros conceitos científicos, com procedimentos de manipulação e com aplicações paradigmáticas. Disso se segue que conceitos como o de elemento químico dificilmente podem ser inventados independentemente de um contexto. Ademais, dado o contexto, tais conceitos raramente demandam invenção, uma vez que eles já estão à disposição. Tanto Boyle quanto Lavoisier mudaram o significado de 'elemento' em sentidos importantes. Mas eles não inventaram a noção e nem mesmo modificaram a fórmula verbal que funciona como sua definição. Como já vimos, nem Einstein inventou ou até mesmo redefiniu explicitamente 'espaço' e 'tempo' de modo a dar-lhes um novo significado dentro do contexto de seu trabalho.

Qual, portanto, foi a função histórica de Boyle naquela parte do seu trabalho que inclui a famosa “definição”? Ele era um líder de uma revolução científica que – ao mudar a relação de 'elemento' para a manipulação química e para a teoria química – transformou a noção de elemento em uma ferramenta muito diferente daquela que fora antes e, nesse processo, transformou tanto a química quanto o mundo do químico.¹⁴³ Outras revoluções – incluindo aquela

142 T. S. Kuhn, “Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century”, *Isis*, XLIII (1952), 26-29.

143 Marie Boas, em seu *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958), trata em muitas passagens das contribuições positivas de Boyle para a evolução

centralizada em torno de Lavoisier – foram necessárias para dar ao conceito de elemento químico sua forma e sua função. Mas Boyle oferece um exemplo típico do processo envolvido em cada um desses estágios e, também, daquilo que acontece nesse processo quando o conhecimento existente é consolidado em um manual didático. Mais do que qualquer outro aspecto individual da ciência, a forma pedagógica determinou a nossa imagem da natureza da ciência e o papel da descoberta e da invenção em seu avanço.

do conceito de elemento químico.

XII. Como as Revoluções se Resolvem

Os livros didáticos que discutimos até agora são produzidos apenas depois que a revolução científica foi concluída. Tornam-se a partir daí a base para uma nova tradição de ciência normal. Todavia, ao tratar da questão da estrutura desses manuais didáticos, nós deixamos de lado um passo importante. Como é o processo pelo qual um candidato a paradigma substitui o seu antecessor? Toda nova interpretação da natureza – seja ela uma descoberta ou uma teoria – emerge primeiro na mente de um ou de poucos indivíduos. Eles são os primeiros que aprendem a ver a ciência e o mundo de um modo diferente. Sua habilidade para fazer a mudança é facilitada por duas circunstâncias que os diferencia da maioria dos outros membros da profissão. Invariavelmente sua atenção foi concentrada sobre os problemas que provocaram a crise. Ademais, em geral, são pessoas tão jovens – ou tão novas no campo em que a crise é administrada – que uma prolongada prática da ciência ainda não chegou a impregná-las tão profundamente da visão de mundo e das regras determinadas pelo paradigma em vigor, quanto o fez com seus contemporâneos. Como elas se habilitam e o que devem fazer para converter a profissão inteira ou, pelo menos, para converter os subgrupos profissionais relevantes ao seu próprio modo de ver a ciência e o mundo? O que leva o grupo a abandonar uma tradição de pesquisa normal em favor de outra?

Para vermos o quanto essas questões se impõem, lembremos de que as respostas que elaboramos para elas são as únicas reconstruções que o historiador pode oferecer para a inquirição feita pelo filósofo sobre o teste, sobre a verificação e sobre a falsificação das teorias científicas estabelecidas. Na medida em que está engajado na ciência normal, o operário da pesquisa é um resolvidor de problemas e não um testador de paradigmas. Embora, quando desenvolve a busca para a solução de um problema em particular, ele possa experimentar um certo número de abordagens alternativas e rejeitar aquelas que falham em produzir o resultado desejado, esse operário da pesquisa não está testando o paradigma quando faz isso. Em vez disso, ele é como o jogador de xadrez que – com um problema posto física ou mentalmente diante de si no tabuleiro – tenta várias alternativas de movimento na busca de uma solução. Essas tentativas virtuais – sejam elas feitas pelo jogador de xadrez ou pelo cientista – ajuízam apenas as alternativas tentadas, e não as regras do jogo. Elas são possíveis apenas quando o paradigma é

considerado seguro. Portanto, o teste do paradigma só ocorre depois que o fracasso persistente na resolução de um problema relevante desencadeou a crise. E mesmo assim, ele só ocorre depois que o reconhecimento da crise já levou à produção de um candidato alternativo para o paradigma. Nas ciências, a situação de teste de paradigmas jamais consiste – como no caso da resolução de problemas – na simples comparação de um paradigma específico com a natureza. Em vez disso, o teste ocorre como parte da competição entre dois paradigmas rivais pela adesão da comunidade científica.

Quando examinada mais atentamente, essa formulação apresenta paralelismos inesperados – e provavelmente significativos – com as mais populares teorias contemporâneas sobre a verificação. Poucos filósofos da ciência ainda buscam critérios absolutos para a verificação das teorias científicas. Ao notar que teoria alguma pode, em qualquer circunstância, ser exposta a todos os testes relevantes possíveis, os filósofos da ciência não perguntam se uma teoria pode ser verificada. Em vez disso, indagam sobre a sua probabilidade à luz da evidência que efetivamente existe. Para responder essa questão, uma escola importante é levada a comparar a habilidade das diferentes teorias para explicar a evidência disponível. Tal insistência em comparar teorias também caracteriza a situação histórica em que uma nova teoria é aceita. Muito provavelmente essa situação aponta para uma das direções em que as discussões futuras sobre a verificação deveriam avançar. Em suas formas mais usuais, contudo, cada uma das teorias probabilísticas da verificação recorre a uma ou outra linguagem observacional pura ou neutra, como foi discutido na Seção X. Uma teoria probabilística propõe que comparemos a teoria científica dada com todas as outras que poderíamos imaginar, desde que se ajustassem à mesma coleção de dados observados. Outra teoria probabilística demanda a construção imaginária de todos os testes a que uma dada teoria científica poderia alegadamente submeter-se.¹⁴⁴ Aparentemente, alguma construção dessa ordem é necessária para o cálculo de probabilidades específicas, sejam elas absolutas ou relativas. Fica, todavia, difícil ver como tal construção pode ser bem sucedida. Como eu já propus, se não pode haver qualquer sistema de linguagem ou de conceitos científica ou empiricamente neutro, então a construção proposta que alterna testes e teorias deve processar-se dentro de uma ou outra tradição paradigma-fundada. Restringida desse modo, essa construção não teria acesso a todas as experiências possíveis nem a todas as teorias

¹⁴⁴ Para um breve esboço dos principais direcionamentos das teorias da verificação probabilística, ver Ernest Nagel, *Principles of the Theory of Probability*, Vol. I, Nº 6 da *International Encyclopedia of Unified Science*, pp. 60-75.

possíveis. Disso resulta que as teorias probabilísticas ao mesmo tempo camuflam e iluminam a situação de verificação. Como insistem, embora essa situação dependa da comparação de teorias com a evidência amplamente aceita, as teorias e as observações em questão estão sempre intimamente relacionadas com aquelas que já existem. A verificação é como a seleção natural: ela destaca a mais viável dentre as alternativas que se apresentam em uma situação histórica particular. Se tal escolha é a melhor que poderia ser feita se ainda tivéssemos outras alternativas, ou se os dados fossem de um outro tipo, não é uma questão que possa ser utilmente feita. Não há qualquer ferramenta disponível que pudéssemos utilizar na busca de uma resposta para ela.

Uma abordagem muito diferente para toda essa rede de problemas foi desenvolvida por Karl R. Popper. Ele nega completamente a existência de qualquer processo de verificação.¹⁴⁵ Em vez disso, ele enfatiza a importância da falsificação. Isto é, enfatiza a importância do teste que exige a rejeição de uma teoria estabelecida por causa de seu resultado negativo. Claramente, esse papel atribuído à falsificação é muito parecido com o papel que nesse ensaio é atribuído às experiências anômalas. Ou seja, com o papel aqui atribuído às experiências que preparam o caminho para uma nova teoria quando provocam crises. Apesar de tudo, as experiências anômalas não podem ser identificadas com as experiências falsificadoras. De fato, eu duvido que essas últimas existam. Como foi repetidamente enfatizado antes, nenhuma teoria sempre resolve os problemas com que é confrontada em um momento qualquer. Nem as soluções já obtidas são sempre perfeitas. Pelo contrário, é exatamente a incompletude e a imperfeição do ajuste existente entre dado e teoria que definem muitos dos problemas que caracterizam a ciência normal, não importa quando. Se um fracasso qualquer no ajuste dado-teoria fosse a base para rejeitar a teoria, todas as teorias deveriam ser rejeitadas o tempo todo. Por outro lado, se apenas um fracasso severo no ajuste dado-teoria justificasse a rejeição da teoria, então os popperianos necessitariam de algum critério de improbabilidade ou grau de falsificação. Se tentarem desenvolver esse critério é quase certo que eles encontrarão a mesma trama de dificuldades que tem rondado as várias teorias da verificação probabilística.

Muitas das dificuldades apontadas podem ser evitadas quando reconhecemos que essas duas visões predominantes e opostas sobre a lógica subjacente à investigação científica tentaram comprimir dois

145 K. R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery* (New York, 1959), esp. caps. i-iv.

processos largamente separados em apenas um. A experiência anômala de Popper é importante para a ciência porque produz competidores para um paradigma existente. Mas a falsificação – supondo a sua ocorrência – não acontece com a emergência de uma anomalia ou instância falsificadora, ou simplesmente por causa dela. Em vez disso, trata-se de um processo subsequente e separado que poderia igualmente ser chamado de verificação, já que consiste no triunfo de um novo paradigma sobre o velho. Ademais, é nesse processo conjunto de verificação-falsificação que a comparação probabilística de teorias exerce um papel central. Tal formulação em dois estágios, penso, tem a virtude de uma grande verossimilhança, além de poder nos possibilitar um começo de explicação do papel do acordo – ou do desacordo – entre fato e teoria no processo de verificação. Pelo menos para o historiador, não faz muito sentido sugerir que a verificação é o acordo do fato com a teoria. Todas as teorias historicamente significativas concordaram com os fatos, mas fizeram isso apenas mais ou menos. Não há resposta mais precisa para as questões de se-ou-quão-bem uma teoria tomada individualmente ajusta-se aos fatos. Mas questões muito parecidas com essas podem ser formuladas quando as teorias são tomadas coletivamente, ou mesmo em pares. Faz bastante sentido perguntar qual de duas teorias disponíveis melhor se ajusta aos fatos. Embora nem a teoria de Priestley nem a teoria de Lavoisier, por exemplo, concordassem precisamente com as observações existentes, poucos contemporâneos hesitaram mais de uma década para concluir que a teoria de Lavoisier oferecia um ajuste melhor aos fatos. Essa formulação, contudo, faz com que a tarefa de escolher entre paradigmas concorrentes pareça mais fácil e mais familiar do que efetivamente é. Se houvesse apenas um conjunto de problemas científicos, apenas um mundo dentro do qual esses problemas fossem trabalhados e apenas um conjunto de padrões para a solução deles, a concorrência entre paradigmas poderia ser resolvida mais ou menos rotineiramente por meio de algum processo como o de contar o número de problemas que cada um deles resolvesse. Mas, de fato, essas condições nunca são completamente preenchidas. Pelo menos em alguma medida, os proponentes de paradigmas em competição estão sempre falando as mesmas palavras com significados diferentes. Ao defender suas posições, nenhum dos lados vai conseguir explicitar todas as postulações não empíricas de que o outro necessita para que haja compreensão mútua. Como Proust e Berthollet discutindo sobre os compostos químicos, os diferentes contendores são, pelo menos parcialmente, compelidos a uma fala mutuamente ininteligível. Ainda

que cada um possa ter a esperança de converter o outro ao seu modo de ver a sua ciência e os seus problemas, ninguém pode ter a esperança de provar o seu caso. A concorrência entre paradigmas não é o tipo de batalha que pode ser resolvida através de provas. Já vimos várias razões por que os proponentes de paradigmas concorrentes devem fracassar em fazer pleno contato com os pontos de vista um do outro. Coletivamente, essas razões têm sido descritas como a incomensurabilidade das tradições de pesquisa pré-revolucionárias e pós-revolucionárias. Vamos recapitulá-las brevemente aqui. Em primeiro lugar, os proponentes de paradigmas competidores discordarão com frequência acerca da lista de problemas que qualquer candidato a paradigma deve resolver. Seus padrões ou suas definições de ciência não são os mesmos. A teoria do movimento deve explicar a causa das forças de atração entre as partículas de matéria, ou ela pode simplesmente registrar a existência de tais forças? À diferença da teoria de Aristóteles e da teoria de Descartes, a dinâmica de Newton foi amplamente rejeitada porque ela implicava a segunda resposta para a questão. Quando a teoria de Newton foi aceita, conseqüentemente tal questão foi banida da ciência. Essa mesma questão, todavia, a teoria geral da relatividade pode orgulhosamente afirmar ter resolvido. Ou ainda, como foi disseminado no século dezenove, a teoria química de Lavoisier inibiu os químicos de perguntar por que os metais eram tão parecidos. Uma pergunta que a química flogística não só fez como respondeu. A transição para o paradigma de Lavoisier – como a transição para o paradigma de Newton – significou a perda não apenas de uma questão permissível, mas também de uma solução bem sucedida. Entretanto, essa perda não foi sequer permanente. No século vinte as questões sobre as qualidades das substâncias químicas reintroduziram-se na ciência, juntamente com algumas repostas para elas.

Contudo, nisso está envolvido muito mais que a incomensurabilidade dos padrões. Uma vez que os novos paradigmas nascem dos velhos, eles ordinariamente incorporam boa parte do vocabulário e do aparato – tanto conceitual quanto manipulativo – que o paradigma tradicional empregara anteriormente. Mas eles raramente empregam os elementos emprestados exatamente da maneira tradicional. Velhos termos, conceitos e experimentos são postos em novas relações entre si dentro dos novos paradigmas. Embora o termo não seja muito adequado, o resultado inevitável é aquilo que devemos denominar uma incompreensão entre duas escolas concorrentes. O leigo que desdenhou a teoria geral da

relatividade de Einstein porque o espaço não pode ser curvo – e não se tratava propriamente desse tipo de coisa – não estava simplesmente errado ou equivocado. Nem estavam errados ou equivocados os matemáticos, físicos e filósofos que tentaram desenvolver uma versão euclidiana da teoria de Einstein.¹⁴⁶ O que se supunha anteriormente como espaço era necessariamente plano, homogêneo, isotrópico e não afetado pela presença da matéria. Se assim não fosse, a física newtoniana não teria funcionado. Para fazer a transição para o universo de Einstein, toda a teia conceitual – cujos fios são espaço, tempo, matéria, força, e assim por diante – teria que ser mudada e novamente lançada sobre o todo da natureza. Apenas as pessoas que se submeteram coletivamente a essa transformação – em conjunto com aquelas pessoas que não conseguiram passar por isso – mostrar-se-iam capazes de descobrir com precisão aquilo sobre o que concordavam e aquilo sobre o que discordavam. A comunicação que atravessa a linha de frente revolucionária é inevitavelmente parcial. Apontando um outro exemplo, consideremos as pessoas que chamaram Copérnico de louco porque ele proclamou que a Terra se movia. Eles não estavam nem pouco, nem muito errados. Parte do que queriam dizer com a palavra Terra significava posição fixa. Pelo menos a Terra deles não podia ser movida. Por outro lado, a inovação de Copérnico não era simplesmente mover a Terra, mas uma maneira totalmente nova de considerar os problemas da física e da astronomia. Tratava-se de um modo de ver que mudou necessariamente o significado de Terra e de movimento.¹⁴⁷ Sem essas mudanças, o conceito de uma Terra que se move era loucura. Por outro lado, tão logo essas mudanças foram elaboradas e compreendidas, tanto Descartes quanto Huyghens puderam entender que o movimento da Terra era uma questão sem qualquer conteúdo para a ciência.¹⁴⁸

Esses exemplos apontam para o terceiro e mais fundamental aspecto da incomensurabilidade dos paradigmas concorrentes. Em um sentido que eu não consigo explicar suficientemente, os proponentes de paradigmas concorrentes praticam sua atividade em mundos diferentes. Um desses mundos contém corpos que caem

146 Sobre as reações leigas ao conceito de espaço curvo ver Philipp Frank, *Einstein, His Life and Times*, trad. e ed. Por G. Rosen e S. Kusaka (New York, 1947), pp. 142-46. Sobre algumas das tentativas de preservar os ganhos da teoria geral da relatividade no interior do espaço euclidiano, ver C. Nordmann, *Einstein and the Universe*, trad. Por J. McCabe (New York, 1922), cap. ix.

147 T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), capítulos iii, iv e vii. A extensão em que o heliocentrismo era mais que uma questão estritamente astronômica é o tema principal do livro inteiro.

148 Max Jammer, *Concepts of Space* (Cambridge, Mass., 1954), pp. 118-24.

lentamente num meio que lhes opõe resistência. Um outro mundo contém pêndulos que repetem seu movimento indefinidamente. Em um desses mundos as soluções são compostos. No outro as soluções são misturas. Um desses mundos está integrado numa matriz de espaço plana. O outro está integrado numa matriz de espaço curva. Ao fazer ciência em mundos diferentes, os dois grupos de cientistas veem coisas diferentes quando olham a partir do mesmo ponto e na mesma direção. Repitamos que isso não quer dizer que eles possam ver qualquer coisa a seu bel-prazer. Ambos estão olhando para o mundo e aquilo que veem não mudou. Mas, em algumas áreas eles veem coisas diferentes. Ao mesmo tempo, eles veem essas coisas em diferentes relações umas com as outras. Eis porque uma lei que não pode sequer ser demonstrada para um grupo de cientistas, pode ocasionalmente parecer intuitivamente óbvia para um outro grupo de cientistas. É também por isso que – antes que eles possam satisfazer a expectativa de uma comunicação mútua plena – um ou outro dos grupos em competição deve vivenciar a conversão que temos chamado de mutação paradigmática. Precisamente porque é uma transição entre incomensuráveis, a transição entre paradigmas concorrentes não pode ser feita passo a passo, nem pode ser forçada pela lógica ou por uma experiência neutra. Do mesmo modo que qualquer transformação estrutural, a transição entre paradigmas ocorrerá de uma só vez – embora não necessariamente em um instante –, ou então não ocorrerá.

Como, então, os cientistas são levados a fazer essa transposição? Em parte a resposta está em que eles muito frequentemente não a fazem. O copernicanismo fez poucos conversos por quase um século após a morte de Copérnico. O trabalho de Newton não foi universalmente aceito – particularmente na parte continental da Europa – por mais de meio século depois que os *Principia* foram publicados.¹⁴⁹ Priestley nunca aceitou a teoria do oxigênio, nem Lord Kelvin aceitou a teoria eletromagnética, e assim por diante. As dificuldades de conversão foram muitas vezes notadas pelos próprios cientistas. Darwin – em uma passagem de particular perspicácia – escreveu o seguinte no final da sua *On the Origin of Species*: “Embora eu esteja plenamente convencido da verdade das concepções expostas nesse volume [...] de modo algum espero convencer os naturalistas mais experientes, cujas mentes foram forradas por uma multidão de fatos – todos eles concebidos a partir de um ponto de vista diretamente oposto ao meu – durante anos a

149I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), pp. 93-94.

*... Mas olho para o futuro com confiança. Ou seja, olho para os jovens naturalistas em ascensão que estão se habilitando para ver os dois lados da questão com imparcialidade.”*¹⁵⁰ Examinando a própria carreira em sua *Scientific Autobiography*, também Max Planck registrou tristemente que “*Uma nova verdade científica não triunfa por convencer seus oponentes, fazendo-os ver a luz. Uma nova verdade científica triunfa porque seus oponentes mais cedo ou mais tarde morrem e uma nova geração se educa familiarizando-se com ela.*”¹⁵¹

Esses fatos e outros semelhantes são de conhecimento muito generalizado para que precisemos dar-lhes maior ênfase. Todavia, eles precisam passar por uma reavaliação. No passado, em geral se considerava que eles indicavam que, por serem apenas humanos, os cientistas nem sempre admitiriam seus erros, mesmo quando confrontados com uma prova rigorosa. Meu argumento é que nessas questões nem a prova nem o erro estão em causa. A transferência de sujeição de um paradigma para outro equivale a vivenciar uma conversão que não pode ser forçada. Resistência persistente – particularmente daqueles cujas carreiras produtivas foram devotadas a uma tradição mais antiga de ciência normal – não é uma violação dos padrões científicos, mas uma indicação da própria natureza da pesquisa científica. A fonte de resistência é a convicção de que, no fim das contas, o paradigma mais velho ainda vai resolver todos os seus problemas. É a convicção de que a natureza pode ser submetida ao molde representado pelo paradigma. Em tempos de revolução, inevitavelmente essa convicção se parece com rigidez e obstinação – como efetivamente às vezes se torna. Mas ela também é algo mais. Essa mesma convicção é o que torna possível a ciência normal ou ciência resolvedora de problemas. E é apenas através da ciência normal que a comunidade de cientistas profissionais tem sucesso. Em primeiro lugar, sucesso na exploração do alcance potencial e no desenvolvimento da precisão do paradigma mais velho. Em segundo lugar, sucesso em isolar a dificuldade através de cujo estudo pode emergir um novo paradigma.

Ademais, dizer que a resistência é inevitável e legítima – e que a mudança de paradigma não pode ser legitimada por alguma prova – não é o mesmo que dizer que nenhum argumento seja relevante ou que os cientistas não possam ser persuadidos a mudar de opinião. Embora às vezes seja preciso toda uma geração para que a mudança

150 Charles Darwin, *On the Origin of Species* (authorized edition from 6th english ed.; New York, 1889), II, 295-96.

151 Max Planck, *Scientific Autobiography and Other Papers*, trad. F. Gaynor (New York, 1949), pp. 33-34.

surta efeito, as comunidades científicas têm sido repetidamente convertidas para novos paradigmas. Além disso, essas conversões não ocorrem a despeito do fato de que os cientistas sejam humanos, mas exatamente porque eles são humanos. Embora alguns cientistas – particularmente os mais velhos e os mais experientes – possam resistir indefinidamente, a maioria deles pode ser sensibilizada de um modo ou de outro. As conversões ocorrerão um pouco de cada vez, até que – depois da morte dos últimos recalcitrantes – toda a profissão estará de novo exercendo seu ofício sob um único – mas agora diferente – paradigma. Devemos, portanto, perguntar como a conversão é implementada e como se resiste a ela.

Que tipo de resposta para tal questão nós podemos esperar? Precisamente porque ela pergunta sobre técnicas de persuasão e sobre argumento e contra-argumento em uma situação em que não pode haver qualquer prova, nossa questão é de um tipo novo e requer um tipo de estudo que não foi feito anteriormente. Temos que nos contentar no momento com um exame muito parcial e impressionista. Em acréscimo, tudo o que já foi dito até agora combina-se com o resultado desse exame para sugerir que quando perguntamos mais sobre persuasão e menos sobre prova, a questão da natureza do argumento científico não tem uma resposta uniforme. Individualmente, os cientistas abraçam um novo paradigma por todo tipo de razões e, usualmente, por vários tipos de razões ao mesmo tempo. Algumas dessas razões – por exemplo, a adoração do sol que ajudou fazer de Kepler um copernicano – situam-se inteiramente fora da suposta esfera da ciência.¹⁵² Outras devem depender das singularidades biográficas e da personalidade do cientista. Até mesmo a nacionalidade e a prévia reputação do inovador e de seus professores podem às vezes exercer um papel significativo.¹⁵³ O que importa é que devemos aprender perguntar de um modo diferente. Nosso interesse, portanto, não estará nos argumentos que de fato convertem um ou outro indivíduo. Nosso interesse estará naquele tipo de comunidade que, como um grupo especializado, mais cedo ou mais tarde sempre se reestrutura. Tal

152 Para o papel da adoração do sol no pensamento de Kepler ver E. A. Burt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science* (ed. rev.; New York, 1932), pp. 44-49.

153 Para o papel da reputação, consideremos o seguinte: Lord Raleygh, quando sua reputação já tinha sido consolidada, submeteu à British Association um artigo com alguns paradoxos da eletrodinâmica. Seu nome foi acidentalmente omitido quando o artigo foi enviado pela primeira vez. Nessa ocasião, o artigo foi liminarmente rejeitado como o trabalho de algum formulador de paradoxos. Logo depois, agora com o nome do autor no devido lugar, o artigo foi aceito com uma profusão de pedidos de desculpas (R. J. Strutt, 4º Barão de Raleygh, *John William Strutt, Third Baron Raleygh* [New York, 1924], p. 228).

problema, contudo, eu adio para a seção final. No momento passo a examinar apenas os tipos de argumento que se mostram particularmente efetivos nas batalhas pela mudança paradigmática.

Provavelmente a alegação isolada que mais prevalece entre os proponentes de um novo paradigma é que eles agora podem resolver os problemas que levaram o antigo paradigma à crise. Quando pode ser feita legitimamente, essa alegação é com frequência a mais efetiva possível. Na área em que essa alegação é apresentada, sabe-se que o paradigma esteve em dificuldade. Tal dificuldade foi explorada repetidamente e as sucessivas tentativas de removê-la fracassaram. Mas, experimentos cruciais – aqueles capazes de fazer uma distinção particularmente precisa entre dois paradigmas – foram reconhecidos e atestados antes mesmo que um novo paradigma fosse inventado. Assim, Copérnico alegou que tinha resolvido o problema da extensão do ano civil – um problema que incomodava há longo tempo. Newton alegou que tinha reconciliado a mecânica terrestre com a mecânica celeste. Lavoisier afirmou que tinha resolvido os problemas de identificação dos gases e suas relações de peso. Einstein reivindicou que tinha tornado a eletrodinâmica compatível com uma ciência do movimento reformulada.

Alegações desse tipo têm uma particular probabilidade de ser bem sucedidas se os novos paradigmas apresentarem uma precisão quantitativa claramente melhor que seu competidor mais velho. Em comparação com as tabelas calculadas a partir da teoria de Ptolomeu, a superioridade quantitativa das Tabelas Rudolfinas de Kepler foi um fator relevante na conversão dos astrônomos ao copernicanismo. O sucesso de Newton em prever observações astronômicas quantitativas foi provavelmente a razão isolada mais importante para o triunfo de sua teoria sobre competidores mais razoáveis, mas que apresentavam apenas um caráter qualitativo. E no presente século, o fulgurante sucesso tanto da lei da radiação de Planck quanto do átomo de Bohr rapidamente persuadiu muitos físicos a adotarem-nos, ainda que, vendo a ciência física em seu conjunto, essas duas contribuições criaram muito mais problemas do que resolveram.¹⁵⁴

No entanto, a alegação de ter resolvido problemas que provocaram a crise é raramente suficiente por si mesma. E nem sempre pode ser legitimamente feita. De fato, a teoria de Copérnico não era mais acurada que a de Ptolomeu, além de não levar diretamente a qualquer aperfeiçoamento no calendário. Ou ainda, a

¹⁵⁴ Para os problemas criados pela teoria quântica ver F. Reiche, *The Quantum Theory* (London, 1922), caps., ii, vi-ix. Para os outros exemplos nesse parágrafo ver as referências anteriores nessa seção.

teoria ondulatória da luz não foi – pelo menos por alguns anos depois de seu primeiro anúncio – nem mesmo tão bem sucedida quanto sua rival corpuscular na resolução dos efeitos de polarização, que eram a principal causa da crise na ótica. Às vezes, a prática científica mais livre que caracteriza a pesquisa extraordinária vai produzir um candidato a paradigma que, inicialmente, de modo algum ajuda a resolver os problemas que provocaram a crise. Quando isso ocorre, a evidência deve ser arrancada de outras parte do campo, como acontece com frequência. Nessas outras áreas podem ser desenvolvidos argumentos particularmente persuasivos se o novo paradigma permite a predição de fenômenos inteiramente insuspeitados durante a vigência do antigo paradigma.

A teoria de Copérnico, por exemplo, sugeriu que os planetas deveriam ser como a Terra; que Vênus deveria apresentar fases; e que o Universo deveria ser muito mais vasto do que se supunha até então. Como resultado – quando sessenta anos depois de sua morte o telescópio repentinamente mostrou montanhas na Lua, as fases de Vênus e um imenso número de estrelas que anteriormente ninguém suspeitava que existissem –, tais observações trouxeram para a nova teoria muitos novos conversos, particularmente entre os não astrônomos.¹⁵⁵ No caso da teoria ondulatória da luz, uma das mais importantes fontes de conversões profissionais foi ainda mais dramática. A resistência francesa colapsou repentinamente e de modo relativamente completo quando Fresnel mostrou-se capaz de demonstrar a existência de um foco branco circular no centro da sombra de um disco circular. Tratava-se de um efeito que nem mesmo ele tinha antecipado mas que Poisson, inicialmente um de seus oponentes, mostrou ser uma consequência necessária, ainda que absurda, da sua teoria.¹⁵⁶ Devido ao seu poder de impacto – e também porque não tinham sido tão obviamente explicitados desde o começo na construção da nova teoria – argumentos como estes mostram-se particularmente convincentes. Às vezes essa força extra pode ser explorada mesmo que o fenômeno em questão tenha sido observado muito tempo antes que a teoria que dá conta dele tenha sido apresentada pela primeira vez. Einstein, por exemplo, parece não ter antecipado que a teoria geral da relatividade explicaria com precisão a bem conhecida anomalia no movimento do periélio de Mercúrio. Quando isso ocorreu, ele experimentou um notável sentimento de triunfo.¹⁵⁷

¹⁵⁵ Kuhn, *op. cit.*, pp. 219-25.

¹⁵⁶ E. T. Whittaker, *A History of Æther and Electricity*, I (2.ed.; London, 1951), p. 108.

¹⁵⁷ Ver *ibid.*, II (1953), pp. 151-80, para o desenvolvimento da relatividade geral. Para a reação de Einstein diante do acordo preciso da teoria com o movimento observado do

Todos os argumentos em prol de um novo paradigma discutidos até agora foram baseados na habilidade comparativa dos competidores para resolver problemas. Para os cientistas, tais argumentos são ordinariamente os mais significativos e persuasivos. Mas – por razões a que deveremos voltar logo à frente –, esses argumentos não são nem individualmente nem coletivamente imperativos. Afortunadamente, há também um outro tipo de consideração que pode levar os cientistas a rejeitar um paradigma velho em favor de um novo. Falo dos argumentos que raramente são tornados inteiramente explícitos e que apelam para o senso estético e de adequação do indivíduo: a nova teoria é considerada mais “limpa”, mais “adequada” ou mais “simples” que a velha. Provavelmente, esses argumentos sejam mais efetivos na matemática que nas ciências. As versões mais primitivas da maioria dos novos paradigmas são toscas. No momento em que o apelo estético pleno pode ser desenvolvido, a maioria da comunidade científica já foi convencida por outros meios. Não obstante, a importância das considerações de ordem estética às vezes pode ser decisiva. Embora em geral elas atraiam apenas uns poucos cientistas para a nova teoria, é precisamente desses poucos que o triunfo definitivo dessa nova teoria pode depender. Se eles não a tivessem assumido com presteza por razões em grande medida individuais, o novo candidato a paradigma poderia jamais ter sido suficientemente desenvolvido para transformar em devotos os membros da comunidade científica como um todo.

Para vermos por que são importantes essas considerações de caráter mais estético e subjetivo, lembremo-nos daquilo a que se refere o debate de paradigmas. Quando um novo candidato a paradigma é proposto pela primeira vez, ele em geral resolveu apenas uns poucos problemas com os quais foi confrontado, e a maior parte das soluções ainda está longe da perfeição. Até Kepler, a teoria copernicana aperfeiçoara muito pouco as previsões das posições planetárias feitas por Ptolomeu. Quando Lavoisier viu o oxigênio como “*o próprio ar em sua inteireza*”, sua teoria de modo algum podia lidar com os problemas apresentados pela proliferação de novos gases. Algo que Priestley fez com grande sucesso em seu contra-ataque. Casos como o do foco branco de Fresnel são extremamente raros. Em geral, só muito tempo depois que o novo paradigma foi desenvolvido, aceito e explorado que argumentos aparentemente decisivos são produzidos, a exemplo do pêndulo de Foucault para

periélio de Mercúrio, ver a carta citada em P. A. Schilpp (ed.), *Albert Einstein, Philosopher-Scientist* (Evanston, Illinois, 1949), p. 101.

demonstrar a rotação da Terra ou do experimento de Fizeau para mostrar que a luz se move mais rapidamente no ar que na água. Produzi-los é parte da ciência normal e seu papel não é exercido nos debates de paradigmas, mas nos textos pós-revolucionários.

Antes que esses textos sejam escritos, e enquanto o debate prossegue, a situação é muito diferente. Usualmente os opositores de um novo paradigma podem legitimamente reclamar que até mesmo na área produtora da crise ele é bem pouco superior ao seu rival tradicional. Está claro que o novo paradigma lida melhor com alguns problemas, e que explicitou algumas novas regularidades. Mas os opositores do novo paradigma continuam a achar que o paradigma mais velho possa ser melhor articulado para enfrentar os novos desafios, do mesmo modo que fizera com os desafios anteriores. Tanto o sistema astronômico de Tycho Brache, que era centrado na Terra, quanto as versões mais avançadas da teoria do flogisto foram respostas aos desafios apresentados por um novo candidato a paradigma. E todas essas respostas tiveram considerável sucesso.¹⁵⁸ Ademais, os defensores do modo de proceder e da teoria tradicionais quase sempre conseguem apontar problemas que seu rival não resolveu e que, segundo seu ponto de vista, sequer são problemas. Até que se descobrisse a composição da água, a combustão do hidrogênio foi um forte argumento em favor da teoria do flogisto e contra a teoria de Lavoisier. E mesmo depois de seu triunfo, a teoria do oxigênio ainda não conseguia explicar a preparação de um gás combustível a partir do carbono – um fenômeno que os partidários do flogisto tinham apontado como um forte apoio ao seu ponto de vista.¹⁵⁹ Mesmo na área da crise, o balanço de argumento e contra-argumento pode certamente ser muito equilibrado. E fora daquela área, o balanço com frequência favorecerá a tradição. Copérnico desmantelou uma explicação do movimento da Terra já sancionada pelo tempo, sem apresentar uma substituta. O mesmo fez Lavoisier a respeito das propriedades comuns aos metais, e assim por diante. Em resumo, se um novo candidato a paradigma tivesse que ser avaliado desde o início por gente incrédula que examinasse apenas a sua capacidade de resolver problemas, as ciências experimentariam bem poucas revoluções de maior alcance. Some-se a isso os contra-

158 Sobre o sistema de Brahe, que era completamente equivalente ao de Copérnico do ponto de vista geométrico, ver J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (2.ed.; New York, 1953), pp. 359-71. Sobre as últimas versões da teoria do flogisto e seu sucesso, ver J. R. Partington e D. McKie, "Historical Studies of the Phlogiston Theory", *Annals of Science*, IV (1939), pp. 113-49.

159 Sobre o problema apresentado pelo hidrogênio ver J. R. Partington, *A Short History of Chemistry* (2.ed.; London, 1951), p. 134. Sobre o monóxido de carbono ver H. Kopp, *Geschichte der Chemie*, III (Braunschweig, 1845), 294-96.

argumentos produzidos por aquilo que chamei anteriormente de incomensurabilidade entre paradigmas, e então já não teremos quaisquer revoluções nas ciências.

Mas os debates entre paradigmas nem de longe dizem respeito à habilidade de resolver problemas, ainda que por boas razões eles sejam narrados nesses termos. A questão é bem outra. Ou seja, trata-se da questão de qual dos paradigmas deveria, no futuro, guiar a pesquisa sobre muitos daqueles problemas que nenhum dos competidores ainda declara poder resolver inteiramente. Uma decisão entre maneiras diferentes de se praticar a ciência é requerida e, nas circunstâncias, essa decisão deve basear-se menos nas realizações passadas e mais na expectativa quanto ao futuro. Uma decisão desse tipo só pode ser tomada com base na fé.

É por isso que a crise que antecede a revolução mostra-se tão importante. Os cientistas que não a vivenciaram raramente renunciam à sólida evidência dos problemas já resolvidos com o paradigma mais velho, para seguir algo que pode ser facilmente provado e amplamente reconhecido como um simples fogo-fátuo. Mas só a crise não é suficiente. Tem que haver uma base para a fé no paradigma escolhido, ainda que ela não precise ser nem racional nem, em última instância, correta. Alguma coisa deve fazer com que pelo menos alguns cientistas sintam que a nova proposta está na trilha certa. E às vezes são apenas considerações pessoais de caráter estético não suficientemente articuladas que fazem isso. Pessoas chegaram a ser convertidas por considerações desse tipo, naqueles momentos em que a maioria dos argumentos tecnicamente articulados apontava para um outro caminho. Nem a teoria astronômica de Copérnico, nem a teoria da matéria de De Broglie dispunham de um ponto de apoio muito maior que esse para ganhar adeptos quando foram introduzidas pela primeira vez. Ainda hoje a teoria geral da relatividade de Einstein atrai pessoas com base em considerações de ordem estética – um apelo que poucas pessoas fora da matemática mostraram-se capazes de sentir.

Não estou sugerindo que novos paradigmas triunfem em última instância por meio de alguma mística estética. Pelo contrário, poucas pessoas desertam uma tradição científica exclusivamente por esse tipo de razão. Com frequência aqueles que o fizeram, equivocaram-se. Mas, para que um paradigma possa efetivamente triunfar ele precisa ganhar o apoio de alguns pioneiros: aqueles que vão desenvolvê-lo até o ponto em que se possa produzir e multiplicar argumentos capazes de convencer até os mais teimosos. E mesmo esses argumentos, quando entram em cena, não são individualmente

decisivos. Porque os cientistas são pessoas razoáveis, um ou outro argumento vai acabar persuadindo vários deles. Mas não há nenhum argumento isolado que poderia ou que deveria persuadi-los todos. No lugar de uma conversão global do grupo, o que ocorre é uma crescente mudança no mapa das sujeições, comprometimentos e aceitações profissionais.

No começo, um novo candidato a paradigma pode ter poucos apoiadores e, ocasionalmente, os motivos dessas adesões podem ser conjecturais. Todavia, se são competentes, esse apoiadores pioneiros vão aperfeiçoar o paradigma, vão explorar suas possibilidades e mostrar como seria pertencer a uma comunidade guiada por ele. Na medida em que isso prossegue – e se o paradigma está destinado a vencer o seu combate – o número e a força dos argumentos persuasivos em seu favor aumentarão. Mais cientistas serão assim convertidos e a exploração do novo paradigma terá continuidade. Gradualmente o número de experimentos, instrumentos, artigos e livros baseados no paradigma será multiplicado. Convencidas da fecundidade da nova concepção, ainda mais pessoas adotarão o novo modo de praticar a ciência normal, até que restem, por fim, apenas alguns poucos intransigentes. Mas, mesmo esses, não podemos dizer que estejam errados. Embora o historiador sempre possa encontrar pessoas – Priestley, por exemplo – que foram irrazoáveis quando resistiram tão longamente à mudança, não vai encontrar um ponto em que a resistência se torne ilógica ou acientífica. No máximo, o historiador pode ter vontade de dizer que a pessoa que continua a resistir depois que toda a sua profissão já se converteu deixou, por esse fato mesmo, de ser um cientista.

XIII. Progresso Através de Revoluções

No presente ensaio, as páginas precedentes levaram minha descrição esquemática do desenvolvimento científico tão longe quanto possível. Todavia, elas não podem oferecer propriamente uma conclusão. Se essa descrição chegou a captar a estrutura essencial da evolução contínua de uma ciência, ao mesmo tempo ela terá posto um problema singular. Por que o empreendimento esboçado acima deveria mover-se continuamente para o futuro em sentidos diferentes da, digamos, arte, teoria política ou filosofia? Por que o progresso é um pré-requisito reservado quase exclusivamente para as atividades que nós denominamos ciência? As respostas mais habituais para essa questão foram negadas no corpo desse ensaio. Devemos concluir perguntando se podemos encontrar substitutas para elas. Note-se imediatamente que parte da questão é inteiramente semântica. Em grande medida o termo *ciência* é reservado para designar campos que progridem em sentidos óbvios. Em lugar algum isso se mostra mais claramente que nos recorrentes debates sobre se uma ou outra das ciências sociais contemporâneas é realmente uma ciência. Esses debates têm paralelos nos períodos pré-paradigma dos campos que hoje são chamados sem hesitação de ciência. Seu resultado geral ostensivo é uma definição desse termo intrigante. Argumenta-se que a psicologia, por exemplo, é uma ciência porque possui tais ou quais características. Outros objetam que as tais características ou não são necessárias ou não são suficientes para fazer de um determinado campo uma ciência. Em geral, investe-se nisso muita energia e se desperta uma grande paixão. Quem está de fora fica confuso para saber por quê. O quanto se pode depender de uma *definição* de 'ciência'? Uma definição pode dizer a uma pessoa se ela é cientista ou não? Nesse caso, por que os cientistas naturais – ou os artistas – não se preocupam com a definição do termo? Inevitavelmente passa-se a suspeitar que a controvérsia se põe num nível mais fundamental. Provavelmente, questões como as seguintes estejam realmente sendo feitas: por que o meu campo não consegue avançar do modo como, digamos, a física avança? Que mudanças na técnica, no método ou na ideologia permitiriam ao meu campo avançar como a física? Essas, no entanto, não são questões que pudessem ter como resposta um acordo ou uma definição. Ademais – se o precedente das ciências naturais serve –, tais questões não cessarão de ser uma fonte de preocupação quando uma definição for encontrada. Deixarão de ser uma fonte de preocupação apenas quando os grupos que agora

duvidam do seu próprio *status* chegarem ao consenso sobre as suas realizações passadas e presentes. Pode ser significativo, por exemplo, que os economistas discutam menos que os profissionais de alguns outros campos da ciência social sobre o seu campo ser ou não uma ciência. Seria porque os economistas sabem o que é uma ciência? Ou é, então, sobre economia que eles concordam?

Ainda que não seja mais de caráter simplesmente semântico, tal ponto tem um reverso que pode ajudar a explicitar as conexões inextricáveis entre nossas noções de ciência e progresso. Por muitos séculos – tanto na antiguidade quanto, novamente, nos primórdios da Europa moderna – a pintura foi reconhecida como a disciplina cumulativa. Durante aqueles períodos supunha-se que o objetivo do artista fosse a representação. Críticos e historiadores, como Plínio e Vasari, registrariam com veneração a série de invenções – que vão do escorço ao *chiaroscuro* – que tornaram possíveis representações cada vez mais perfeitas da natureza.¹⁶⁰ Mas aqueles também foram períodos – particularmente durante a Renascença – em que quase não se sentia uma clivagem entre as ciências e as artes. Leonardo da Vinci foi apenas uma entre as muitas pessoas que iam e vinham livremente entre campos que só mais tarde seriam categoricamente diferenciados.¹⁶¹ Ademais, mesmo depois que esse rodízio contínuo cessou, o termo 'arte' continuou a ser aplicado tanto à tecnologia e aos ofícios – que também eram vistos como progressivos – quanto à pintura e à escultura. Só quando essas últimas renunciaram inequivocamente à representação como seu objetivo e começaram a reaprender a partir de novos modelos iniciais que a clivagem – que hoje já é presumida por nós – adquiriu sua alegada profundidade atual. E mesmo hoje – para inverter os campos uma vez mais –, parte da nossa dificuldade em ver as profundas diferenças entre a ciência e a tecnologia deve estar relacionada ao fato de que o progresso é um atributo óbvio dos dois campos.

Todavia, reconhecer que tendemos a ver como ciência qualquer campo em que o progresso é nítido só pode deixar mais clara a nossa presente dificuldade, não resolvê-la. Permanece o problema de compreender por que o progresso deveria ser uma característica tão notável desse empreendimento que apresenta as técnicas e objetivos que esse ensaio descreveu. Essa questão põe-se na forma de várias questões em uma, e devemos examiná-las cada

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

161 *Ibid.*, p. 97; e Giorgio 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.

uma em separado. Contudo, em todos os casos – exceto o último – sua resolução em parte vai depender de uma inversão da nossa visão normal da relação entre a atividade científica e a comunidade que a pratica. Nós devemos reconhecer como causas aquilo que habitualmente foi considerado serem efeitos. Se pudermos fazer isso, as expressões 'progresso científico' e até mesmo 'objetividade científica' podem chegar a parecer redundantes. De fato, um aspecto dessa redundância acabou de ser ilustrada. Um determinado campo faz progresso porque é uma ciência, ou é uma ciência porque faz progresso?

Pergunte agora por que um empreendimento como a ciência normal deveria progredir, e comece a lembrar suas características mais salientes. Normalmente, uma comunidade científica madura trabalha a partir de um paradigma individual ou a partir de um conjunto de paradigmas estreitamente inter-relacionados. Muito raramente comunidades científicas diferentes investigam os mesmos problemas. Nesses casos excepcionais, os grupos sustentam vários paradigmas em comum. Visto de dentro de qualquer comunidade singular, entretanto – seja uma comunidade de cientistas ou de não cientistas –, o resultado do trabalho criativo bem sucedido é progresso. Como seria possível que o progresso fosse algo diferente? Acabamos de notar, por exemplo, que enquanto os artistas tiveram a representação como objetivo, os críticos e os historiadores narraram o progresso daquele grupo aparentemente unânime. Outros grupos criativos exibem um progresso do mesmo tipo. O teólogo que articula o dogma e o filósofo que refina os imperativos kantianos contribuem para o progresso. Ainda que contribuam apenas para o progresso daquele grupo que compartilha de suas premissas. Nenhuma escola criativa reconhece uma categoria de trabalho que por um lado seja um sucesso de criatividade, mas que por outro lado não seja um acréscimo à realização coletiva do grupo. Se duvidamos, como muitos duvidam, que campos não científicos progridem, isso não pode ser porque escolas individuais não façam qualquer progresso. É mais provável que essa dúvida ocorra porque nesses campos sempre há escolas concorrentes, cada uma das quais fica constantemente questionando as próprias fundações das outras escolas. A pessoa que argumenta que a filosofia, por exemplo, não fez progresso algum enfatiza, em defesa dessa tese, que ainda há aristotélicos. E não que o aristotelismo não tenha conseguido fazer qualquer progresso.

Essas dúvidas sobre o progresso, no entanto, também aparecem nas ciências. No transcorrer do período pré-paradigma – período em que há uma multiplicidade de escolas concorrentes – é

muito difícil encontrar qualquer evidência de progresso, exceto no interior das escolas. Esse é o período descrito na Seção II como aquele em que os indivíduos praticam ciência, mas em que os resultados de seu trabalho não se agregam à ciência tal como a conhecemos. Também durante os períodos de revolução – quando os dogmas de um campo científico estão novamente em questão –, repetidamente expressam-se dúvidas sobre a possibilidade mesma de progresso continuado, no caso de um ou outro dos paradigmas opostos vir a ser adotado. Aqueles que rejeitaram o newtonianismo proclamaram que a fé desse último em forças inatas faria a ciência voltar à Idade das Trevas. Os que se opuseram à química de Lavoisier sustentaram que a rejeição dos *princípios* químicos em favor dos elementos de laboratório era a rejeição de uma explicação química bem sucedida por pessoas que estavam se refugiando por traz de um mero nome. Embora expressos de modo mais moderado, sentimentos similares também estão subjacentes à oposição de Einstein, Bohr e outros à interpretação probabilística dominante da mecânica quântica. Em suma, só durante os períodos de ciência normal o progresso parece ao mesmo tempo óbvio e assegurado. No transcorrer de tais períodos, no entanto, a comunidade científica não poderia ver os resultados de seu trabalho de nenhuma outra maneira.

Então, com respeito à ciência normal, parte da resposta ao problema do progresso está simplesmente no olho do observador. O progresso científico não é de espécie diferente do progresso em outros campos. Mas a ausência, na maior parte do tempo, de escolas competidoras que ficam se questionando mutuamente quanto aos objetivos e padrões torna o progresso de uma comunidade científico-normal muito mais fácil de ver. Essa, contudo, é apenas parte da resposta. E de modo algum é a parte mais importante. Por exemplo, nós já observamos que, uma vez que a recepção de um paradigma comum livra a comunidade científica da necessidade de reexaminar constantemente seus princípios básicos, os membros da comunidade podem concentrar-se exclusivamente sobre os fenômenos mais sutis e esotéricos que lhes dizem respeito. Inevitavelmente isso aumenta a efetividade e a eficiência com que o grupo como um todo resolve novos problemas. Outros aspectos da vida profissional aperfeiçoam ainda mais essa eficiência muito especial.

Alguns desses aspectos são consequência do isolamento sem paralelo das comunidades científicas maduras frente às demandas da laicidade e da vida cotidiana. Esse isolamento nunca foi completo. No momento estamos discutindo apenas uma questão de grau. Todavia, não há quaisquer outras comunidades profissionais em que o trabalho

do indivíduo criativo é dirigido aos outros membros da profissão – e também avaliado por eles – com tanta exclusividade. Mesmo o mais impenetrável dos poetas ou o mais abstrato dos teólogos são, de longe, muito mais preocupados que o cientista com a aprovação leiga do seu trabalho criativo. Ainda que eles possam estar bem pouco preocupados com a aprovação geral. Essa diferença mostra-se cheia de consequências. Precisamente porque o cientista está trabalhando apenas para uma audiência de colegas – uma audiência que compartilha com ele os mesmos valores e as mesmas crenças –, ele deve considerar como dado um único conjunto de padrões. Ele não precisa se preocupar com aquilo que algum outro grupo ou escola vai pensar. Portanto, ele pode liquidar um problema e passar para o próximo mais rapidamente que aqueles que trabalham para um grupo mais heterodoxo. De maior importância ainda é o fato de que o isolamento da comunidade científica em relação à sociedade permite ao cientista individual concentrar sua atenção sobre problemas que ele tem bons motivos para acreditar que será capaz de resolver. À diferença do engenheiro, de muitos médicos e da maioria dos teólogos, o cientista não precisa escolher problemas porque eles necessitem solução urgente. Também não precisa escolher problemas sem levar em conta as ferramentas disponíveis para sua solução. Inclusive nesse aspecto o contraste entre os cientistas naturais e muitos cientistas sociais mostra-se instrutivo. Os cientistas sociais tendem, em geral, a escolher o problema a ser investigado – por exemplo, os efeitos da discriminação racial ou as causas do ciclo de negócios – principalmente devido à importância social de se chegar a uma solução. Mas isso, os cientistas naturais quase nunca fazem. De qual dos grupos alguém poderia esperar que resolvesse problemas a uma taxa mais rápida?

Os efeitos do isolamento em relação à sociedade envolvente são imensamente intensificados por uma outra característica da comunidade científica profissional: a natureza de sua iniciação educacional. Na música, nas artes gráficas e na literatura o profissional adquire sua educação sendo exposto às obras dos outros artistas. Principalmente às obras de artistas mais antigos. Nesses campos, os livros didáticos – com exceção dos compêndios e guias de criações originais – têm somente um papel secundário. Na história, na filosofia e nas ciências sociais a literatura de livros didáticos tem uma importância maior. Mas mesmo nesses campos, o curso elementar da graduação adota a leitura paralela das fontes originais. Algumas dessas fontes são *clássicos* na área. Outras, são relatos contemporâneos de pesquisa que os profissionais escrevem para os

pares. Como resultado, o estudante de qualquer uma dessas disciplinas é constantemente conscientizado da imensa variedade de problemas que os membros do seu futuro grupo tentaram resolver no curso do tempo. É ainda mais importante o fato de que o estudante tem constantemente diante de si um certo número de soluções incomensuráveis para aqueles problemas. Soluções que ele deve, no final das contas, avaliar por si mesmo.

Contraste-se essa situação com aquela que podemos encontrar pelo menos nas ciências naturais modernas. Nesses campos, o estudante apoia-se principalmente em manuais até que ele – no terceiro ou quarto ano de trabalho na pós-graduação – comece sua própria pesquisa. Muitos currículos dessa formação científica nem mesmo solicitam aos estudantes de pós-graduação a leitura de trabalhos que não foram escritos especialmente para estudantes. Os poucos currículos que prescrevem a leitura suplementar de artigos de pesquisa e monografias restringem tal prescrição aos cursos mais avançados e, assim mesmo, limitam-se aos materiais que partem mais ou menos do ponto em que os textos didáticos disponíveis pararam. Até os estágios mais avançados da educação de um cientista, os manuais substituem sistematicamente a literatura científica criativa que os tornou possíveis. Poucos cientistas desejariam modificar essa técnica educacional. Isso porque confiam em seus paradigmas, e é essa confiança que torna possível tal técnica educacional. Afinal, por que o estudante de física, por exemplo, deveria ler os trabalhos de Newton, Faraday, Einstein ou Schrödinger quando tudo o que ele precisa saber sobre esses trabalhos já está recapitulado de um modo muito mais resumido, mais preciso e com uma forma muito mais sistemática em muitos dos manuais didáticos mais atualizados? Sem querer defender a duração excessiva a que ocasionalmente esse tipo de educação tem sido levado, não se pode deixar de notar que em geral ele tem sido imensamente eficiente.

É óbvio que essa educação é rígida e limitada. Provavelmente mais do que qualquer outra, à exceção talvez da educação em alguma teologia ortodoxa. Mas para o trabalho científico-normal – isto é, para o trabalho de resolução de charadas no interior da tradição que os manuais definem – o cientista está quase perfeitamente equipado. Além disso, ele também está bem equipado para uma outra tarefa: a geração de crises importantes por meio da ciência normal. Deixemos claro que quando irrompem essas crises o cientista já não está tão bem preparado para enfrentá-las. Embora as crises prolongadas provavelmente se traduzam em uma prática educacional menos rígida, o treinamento científico não chega a ser desenhado de modo

a produzir a pessoa que descobrirá com facilidade uma nova e inventiva abordagem. Mas, tão logo alguém aparece com um novo candidato a paradigma – usualmente uma pessoa jovem ou uma pessoa nova no campo científico em questão – a perda na rigidez só se desenvolve nos indivíduos inovadores. Não obstante – dada uma geração para que se efetive a mudança –, a rigidez individual que predomina nos períodos de ciência normal é compatível com uma comunidade que tem capacidade para se converter de um paradigma a outro quando a ocasião exige. Essa compatibilidade se evidencia particularmente quando levamos em conta que é exatamente a rigidez individual que fornece à comunidade o sensor preciso de que alguma coisa está dando errado.

Assim, em seu estado normal a comunidade científica é um instrumento imensamente eficiente para resolver os problemas ou charadas que o seu paradigma define. Ademais, inevitavelmente o resultado da resolução de tais problemas deve ser progresso. Até aqui não há qualquer problema. Ao chegar até esse ponto, contudo, nosso exame apenas põe o foco de luz sobre a segunda e mais importante parte do problema do progresso nas ciências. Por que o progresso também deveria ser o concomitante aparentemente universal das revoluções científicas? Uma vez mais, ainda, há muito para se aprender ao questionarmos sobre o que mais poderia resultar de uma revolução. As revoluções se encerram com a vitória total de um dos dois campos oponentes. Qual grupo vencedor ousaria dizer que o resultado da sua vitória não foi um progresso? Isso seria mais ou menos como admitir que o grupo estivesse errado e que os seus oponentes estivessem certos. Pelo menos para os membros do grupo vencedor, o novo contexto criado pela revolução deve ser um progresso. E eles estão numa excelente posição para assegurar que também os futuros participantes da sua comunidade verão o passado da mesma maneira. A Seção XI descreveu em detalhe as técnicas com que isso é feito. Agora, nós acabamos de recorrer a um outro aspecto da vida científica profissional estreitamente relacionado. Quando repudia um paradigma que até há pouco estava em vigor, a comunidade científica renuncia – enquanto um material adequado para a leitura profissional – à maioria dos livros e artigos em que aquele paradigma se sistematiza. A educação científica não faz uso de algo que equivalha ao museu de arte ou à biblioteca dos clássicos. O resultado é, às vezes, uma distorção drástica da percepção que o cientista tem do passado da sua disciplina. Mais que os profissionais de outros campos criativos, ele chega a ver esse passado como se conduzisse em linha reta até a posição presente da disciplina. Em

suma: ele chega a vê-lo como progresso. Nenhuma alternativa está disponível ao cientista enquanto ele permanece em seu campo.

Inevitavelmente, essas observações vão sugerir que o membro de uma comunidade científica madura – como o personagem típico do livro *1984* de George Orwell – é a vítima de uma história reescrita pelos poderes estabelecidos. Ademais, essa sugestão não é completamente inapropriada. Há perdas e ganhos nas revoluções científicas, e os cientistas tendem a ser particularmente cegos à perdas.¹⁶² Por outro lado, nenhuma explicação do progresso através de revoluções pode parar nesse ponto. Fazer isso implicaria que, nas ciências, o direito deriva do poder. Essa é uma formulação que também não estaria completamente errada se ela não suprimisse a natureza do processo e da autoridade pelos quais é feita a escolha entre paradigmas. Se apenas a autoridade – e particularmente a autoridade não-profissional – fosse a árbitra dos debates sobre paradigmas, o produto desses debates ainda poderia ser uma revolução. Mas ele não seria uma revolução *científica*. A própria existência da ciência depende de que o poder de escolher entre paradigmas pertença aos membros de um tipo especial de comunidade. Como precisamente essa comunidade especial deve ser – se a ciência deve subsistir – pode ser indicado pela precariedade com que a humanidade tem subsidiado o empreendimento científico. Toda civilização de que temos registro teve uma tecnologia, uma arte, uma religião, um sistema político, e assim por diante. Em muitos casos tais facetas da civilização foram tão desenvolvidas quanto as nossas próprias. Mas só as civilizações que descendem da Grécia Helênica possuem algo mais que uma ciência muito rudimentar. A maior parte do conhecimento científico é um produto da Europa nos últimos quatro séculos. Nenhum outro lugar ou tempo deu tanto apoio a essas comunidades muito especiais que estão na origem da produtividade científica.

Quais são as características essenciais dessas comunidades? Obviamente, elas requerem muito mais estudo. Nessa área, apenas as generalizações mais conjecturais são possíveis. Não obstante, um certo número de requisitos para a participação em um grupo científico profissional já deve, evidentemente, estar claro. O cientista deve, por exemplo, estar interessado em resolver problemas sobre o

¹⁶² Os historiadores da ciência deparam-se frequentemente com essa cegueira de uma forma particularmente manifesta. O grupo de estudantes que chega até esses historiadores vindo das ciências da natureza é o grupo cujo aproveitamento nos estudos é para eles o mais recompensador. Mas, usualmente também é o grupo mais frustrante no início. Porque os estudantes das ciências naturais “já têm todas as respostas certas na ponta da língua”, é particularmente difícil fazê-los analisar uma ciência mais antiga em seus próprios termos.

comportamento da natureza. Em acréscimo, embora seu interesse pela natureza possa ser global quanto à extensão, os problemas com que o cientista trabalha devem ser problemas de pormenor. Adquire maior importância ainda o fato de que as soluções satisfatórias podem não ser meramente pessoais. Elas devem ser aceitas como soluções por muitos. O grupo que as compartilha, no entanto, não pode ser tirado aleatoriamente da sociedade como um todo. Esse grupo é, em vez disso, a bem definida comunidade dos pares profissionais do cientista. Ainda que não escrita, uma das mais fortes regras da vida científica é a proibição dos apelos aos chefes de estado ou às massas populares em geral quanto a matéria científica. O reconhecimento da competência exclusiva de um grupo profissional, e a aceitação de seu papel como árbitro exclusivo das produções profissionais têm outras implicações. Enquanto indivíduos e em decorrência de seu treinamento e experiência compartilhados, os membros do grupo devem ser vistos como os únicos possuidores das regras do jogo, ou de alguma base equivalente para juízos inequívocos. Duvidar que os cientistas compartilhem alguma base desse tipo seria admitir a existência de padrões incompatíveis de produção científica. Tal admissão levantaria inevitavelmente a questão de se a verdade nas ciências pode ser uma.

Essa pequena lista de características comuns às comunidades científicas foi extraída inteiramente da prática da ciência normal. E é assim que deveria ser. Essa é a atividade para a qual o cientista foi ordinariamente treinado. Note-se, contudo, que apesar de ser pequena, a lista já é suficiente para destacar e diferenciar as comunidades científicas dos outros grupos profissionais. Apesar da sua fonte ser a ciência normal, note-se também que a lista inclui muitas das características especiais da reação do grupo durante as revoluções e, particularmente, durante os debates sobre paradigmas. Já observamos que um grupo desse tipo deve ver uma mudança de paradigma como progresso. Agora, nós podemos reconhecer que tal percepção é autorrealizadora. A comunidade científica é um instrumento supremamente eficiente para a maximização do número e da precisão dos problemas resolvidos através da mudança de paradigma.

Porque a unidade básica da produção científica é o problema resolvido; e porque o grupo sabe satisfatoriamente quais problemas já foram resolvidos, poucos cientistas poderão ser persuadidos com facilidade a adotar algum ponto de vista que põe novamente em questão muitos problemas que já foram anteriormente dados como resolvidos. A própria natureza deve ser a primeira a minar a

segurança profissional, ao fazer os trabalhos científicos anteriores parecerem problemáticos. Ademais, mesmo quando isso já ocorreu e um novo candidato a paradigma já foi acionado, os cientistas ainda ficarão relutantes em aceitá-lo. A menos que se convençam de que duas condições de primeira importância estejam sendo preenchidas. Primeiro, o novo candidato a paradigma deve parecer resolver algum problema não resolvido e amplamente reconhecido, que não poderia ser enfrentado de nenhuma outra maneira. Segundo, o novo paradigma deve prometer preservar uma fração relativamente grande da competência na resolução de problemas que se foi acrescentando à ciência por meio dos paradigmas precedentes. A inovação, por si mesma, não é um objetivo nas ciências. Pelo menos não do mesmo modo que em muitos outros campos criativos. Como resultado, os novos paradigmas – embora eles raramente ou nunca possuam todas as capacidades de seus predecessores – costumeiramente preservam uma boa parte dos segmentos mais concretos da produção passada, e ainda permitem a adição de outras soluções concretas de problemas.

Dizer tudo isso não é sugerir que a competência para resolver problemas seja uma base única ou inequívoca para a escolha de um paradigma. Nós já apontamos muitas razões por que não pode haver um critério desse tipo. Dizer tudo isso é sugerir que uma comunidade de especialistas científicos vai fazer tudo o que puder para preservar a continuidade do acumulado de dados que ela tem a possibilidade de tratar com precisão e detalhe. No processo, a comunidade vai arcar com perdas. Em geral, alguns velhos problemas devem ser banidos. Acrescente-se a isso que com frequência a revolução estreita o foco dos interesses da comunidade profissional, aumenta seu grau de especialização e diminui sua capacidade de comunicação com outros grupos, sejam eles científicos ou leigos. Embora a ciência certamente cresça em profundidade, ela não pode crescer em amplitude do mesmo modo. Se isso ocorre, o aumento da amplitude se manifesta principalmente na proliferação das especialidades científicas e não na esfera de ação de qualquer especialidade tomada individualmente. No entanto, apesar dessas e de outras perdas das comunidades individualmente, a natureza de tais comunidades proporciona uma garantia virtual de que tanto a lista dos problemas resolvidos pela ciência quanto a precisão das soluções individuais dos problemas vão aumentar cada vez mais. A natureza da comunidade proporciona tal garantia, pelo menos se houver uma maneira qualquer de proporcioná-la. E poderia haver um critério melhor que a própria decisão do grupo científico?

Esses últimos parágrafos apontam as direções em que eu acredito que uma solução mais refinada do problema do progresso nas ciências deve ser procurada. Talvez elas indiquem que o progresso científico não seja exatamente aquilo que foi imaginado até agora. Mas, ao mesmo tempo, elas mostram que um certo tipo de progresso vai inevitavelmente caracterizar o empreendimento científico enquanto esse empreendimento subsistir. Na ciência não precisa haver qualquer outro tipo de progresso. Para sermos mais precisos, talvez tenhamos que renunciar à noção, explícita ou implícita, de que as mudanças de paradigma conduzem os cientistas e todos os que com eles aprendem para uma aproximação crescente da verdade.

Já é hora de observarmos que até chegarmos a essas poucas últimas páginas, o termo 'verdade' foi introduzido nesse ensaio apenas em uma citação de Francis Bacon. E mesmo naquelas páginas, o termo 'verdade' foi introduzido apenas como uma fonte da convicção do cientista de que regras incompatíveis para fazer ciência não podem coexistir senão durante as revoluções. Aqueles períodos em que a principal tarefa da profissão é eliminar todos os conjuntos de regras, exceto um. O processo de desenvolvimento descrito nesse ensaio foi um processo de evolução *desde* os primórdios primitivos. Um processo cujos estágios sucessivos são caracterizados por uma compreensão da natureza que adquire detalhamento e refinamento crescentes. Mas nada do que foi ou do que será dito aqui faz do processo de desenvolvimento da ciência um processo de evolução *para* qualquer coisa. Inevitavelmente, tal vazio terá angustiado muitos leitores. Nós estamos profundamente acostumados a ver a ciência como um empreendimento que se lança constantemente para mais perto de algum fim que por natureza já está antecipadamente fixado.

Mas, é mesmo preciso que haja tal fim? Não podemos explicar tanto a existência da ciência quanto o seu sucesso nos termos de uma evolução a partir do estado de conhecimento da comunidade, em qualquer tempo dado? Ajuda realmente imaginar que há alguma explicação completa e objetiva da natureza, e que a medida adequada da produção científica é a extensão em que ela nos leva para mais perto desse fim último? Se nós podemos aprender a substituir a *evolução para aquilo que desejamos saber* pela *evolução a partir daquilo que sabemos*, um trançado de problemas frustrantes pode desvanecer-se no processo. Em algum lugar dessa rede, por exemplo, deve estar localizado o problema da indução.

Ainda não posso antecipar em qualquer detalhe as consequências dessa concepção alternativa do avanço científico. Mas ela ajuda a reconhecer que a transposição conceitual aqui recomendada tem estreita proximidade com a transposição conceitual empreendida pelo Ocidente há apenas um século. Essa concepção alternativa do avanço científico é particularmente vantajosa porque em ambos os casos o principal obstáculo à transposição conceitual é o mesmo. Quando Darwin publicou pela primeira vez a sua teoria da evolução em 1859, o que mais irritou muitos profissionais não foi nem a noção de que as espécies se modificam, nem a possível descendência humana a partir dos macacos. A evidência apontando para a evolução – incluindo a evolução humana – fora-se acumulando durante décadas. A ideia de evolução já fora sugerida antes e largamente disseminada. Embora a evolução – enquanto tal – encontrara resistência particularmente entre os grupos religiosos, ela não foi a maior das dificuldades que os darwinianos tiveram que enfrentar. A maior dificuldade brotou de uma ideia muito mais sintonizada com a própria concepção de Darwin. Todas as teorias evolucionistas pré-darwinianas bem conhecidas – as teorias de Lamarck, Chambers, Spencer e dos *Naturphilosophen* alemães – consideraram que a evolução fosse um processo finalisticamente direcionado. A “ideia” de espécie humana e de flora e fauna contemporâneos era pensada como estando presente desde a criação primeira da vida, talvez na mente de Deus. Tal ideia ou plano proporcionou a direção e a força condutora de todo o processo evolucionário. Cada estágio novo do desenvolvimento evolucionário era uma realização mais perfeita de um plano que já estava presente desde o início.¹⁶³

Para muitas pessoas a abolição desse tipo teleológico de evolução foi a mais significativa e a menos palatável das sugestões de Darwin.¹⁶⁴ A *Origem das Espécies* não reconhecia qualquer meta estabelecida por Deus ou pela natureza. Ao invés disso, a seleção natural – operando em um dado ambiente e com os organismos vivos disponíveis no presente – era responsável pela gradual mas persistente emergência de organismos mais complexos, mais vantajosamente estruturados e imensamente mais especializados. Até mesmo órgãos tão maravilhosamente adaptados como o olho e a mão humanos – órgãos cujo desenho tinha anteriormente fornecido

163 Loren Eiseley, *Darwin's Century: Evolution and the Men Who Discovered It* (New York, 1958), caps. ii, iv-v.

164 Para uma exposição particularmente aguda de uma famosa batalha de Darwin com esse problema, ver A. Hunter Dupree, *Asa Gray, 1810-1888* (Cambridge, Mass., 1959), pp. 295-306, 355-83.

poderosos argumentos para a existência de um supremo artífice e de um plano prévio – foram produtos de um processo que se moveu constantemente desde os primórdios primitivos, ainda que para nenhum fim. A crença de que a seleção natural – resultando da mera competição entre organismos pela sobrevivência – poderia ter produzido os humanos juntamente com os animais superiores e as plantas foi o aspecto mais dificultoso e perturbador da teoria de Darwin. O que poderia significar 'evolução', 'desenvolvimento' e 'progresso' na ausência de um fim específico? Para muitas pessoas, tais termos repentinamente pareceram autocontraditórios.

A analogia que relaciona a evolução dos organismos com a evolução das ideias científicas pode ser facilmente levada ao exagero. Mas com respeito às controvérsias dessa seção de encerramento ela é quase perfeita. O processo descrito na Seção XII como a resolução das revoluções é a seleção do modo mais adequado de praticar a ciência futura por meio do conflito dentro da comunidade científica. O resultado líquido de uma sequência de tais seleções revolucionárias – separadas por períodos de ciência normal – é o conjunto maravilhosamente adaptado de instrumentos que nós chamamos conhecimento científico moderno. Os sucessivos estágios desse processo de desenvolvimento são caracterizados por um aumento na articulação e na especialização. E o processo em seu todo pode ter ocorrido – como supomos agora que o fez a evolução biológica – sem o benefício de um fim estabelecido. Isto é, pode ter ocorrido sem o benefício da fixação de uma verdade científica permanente, da qual cada estágio do desenvolvimento do conhecimento científico seria um exemplar melhor.

Quem quer que tenha seguido o argumento até aqui vai, no entanto, sentir a necessidade de perguntar por que o processo evolucionário deveria funcionar. Como deve ser a natureza, incluindo os humanos, para que a ciência seja de algum modo possível? Por que as comunidades científicas deveriam ser capazes de chegar a um firme consenso, inatingível em outras áreas? Por que o consenso deveria persistir através de uma mudança de paradigma depois da outra? E por que a mudança de paradigma invariavelmente produz um instrumento em todos os sentidos mais perfeito que aqueles conhecidos anteriormente? Excetuando-se a primeira, de um certo ponto de vista tais questões já foram respondidas. Mas de um outro ponto de vista, elas estão tão abertas quanto estavam quando esse ensaio começou. Não é só a comunidade científica que deve ser especial. O mundo de que essa comunidade científica é parte também deve possuir características muito especiais. Mas nós não estamos

mais perto de saber o que elas devem ser, do que estávamos no início. Esse problema de *como deve ser o mundo de modo que se possa conhecê-lo* não foi, contudo, criado por esse ensaio. Pelo contrário, esse problema é tão velho quanto a própria ciência. E permanece sem resposta. Mas ele não precisa ser respondido nesse lugar. Qualquer concepção da natureza compatível com o crescimento da ciência pela competição é compatível com a visão evolucionária da ciência desenvolvida aqui. Desde que essa visão também seja compatível com a meticulosa observação da vida científica, há fortes argumentos para empregá-la nas tentativas de resolver a multidão de problemas que ainda restam.

Posfácio de 1969

Nos dias que correm já faz quase sete anos que esse livro foi publicado pela primeira vez.¹⁶⁵ Durante esse período, tanto a reação dos críticos quanto meu trabalho posterior aumentaram minha compreensão de várias questões que ele levanta. Quanto ao fundamental, minha opinião quase não mudou. Todavia, hoje eu reconheço aspectos de sua formulação inicial que criaram dificuldades gratuitas e incompreensões. Uma vez que tais incompreensões foram minhas mesmo, sua eliminação permite-me conquistar um terreno que deveria em última instância fornecer a base para uma nova versão do livro.¹⁶⁶ Não obstante, saúdo a oportunidade de esboçar as revisões requeridas, comentar algumas das críticas mais reiteradas e sugerir as direções em que meu próprio pensamento se desenvolve presentemente.¹⁶⁷

Várias das dificuldades-chave do meu texto original articulam-se em torno do conceito de paradigma, e minha discussão começa com elas.¹⁶⁸ Na subseção que se segue logo à frente eu sugiro que é desejável dissociar o conceito de paradigma da noção de comunidade científica; indico como isso pode ser feito e discuto algumas das consequências significativas da separação analítica resultante. Em seguida, eu considero aquilo que ocorre quando se investiga o paradigma por meio do exame do comportamento dos membros de uma comunidade científica previamente determinada. Tal procedimento torna rapidamente explícito que em boa parte do livro o termo 'paradigma' é usado em dois sentidos diferentes. Por um lado, ele significa a constelação completa de crenças, valores, técnicas, etc., compartilhada pelos membros de uma dada

165 Esse posfácio foi inicialmente preparado por sugestão de meu ex-aluno e velho amigo Dr. Shigeru Nakayama da Universidade de Tóquio, para inclusão em sua tradução desse livro para o japonês. Sou grato a ele pela ideia, pela paciência na espera de sua maturação, e pela permissão de incluir o resultado na edição de língua inglesa.

166 Para a presente edição eu não tentei realizar qualquer reescrita sistemática. Restringi as alterações a uns poucos erros tipográficos e a duas passagens que continham erros individualizáveis. Um deles é a descrição do papel dos *Principia* de Newton no desenvolvimento da mecânica do século dezoito, nas páginas 37-39. O outro concerne à resposta às crises na página 86.

167 Outras indicações podem ser encontradas em dois de meus ensaios recentes: "Reflexions on my Critics", in Imre Lakatos and Alan Musgrave (eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge* (Cambridge, 1970); e "Second Thoughts on Paradigms", in Frederick Suppe (ed.), *The Structure of Scientific Theories* (Urbana, Ill., 1970 or 1971), ambos sendo impressos no momento. Vou citar o primeiro desses ensaios como "Reflections" e o volume em que ele aparece como *Growth of Knowledge*. O segundo ensaio será referido como "Second Thoughts".

168 Para uma crítica particularmente persuasiva da minha apresentação inicial dos paradigmas ver: Margaret Masterman, "The Nature of a Paradigm", em *Growth of Knowledge*; e Dudley Shapere, "The Structure of Scientific Revolutions", *Philosophical Review*, LXXIII (1964), 383-94.

comunidade. Por outro lado, ele denota um tipo de elemento presente naquela constelação: as soluções concretas de charadas que, quando empregadas como modelos ou exemplos, podem substituir as regras explícitas como uma base para a solução das charadas restantes da ciência normal. O primeiro sentido do termo, chamemo-lo sociológico, é o objeto da Subseção 2, abaixo. A Subseção 3 é dedicada aos paradigmas enquanto trabalhos passados exemplares.

Pelo menos filosoficamente, o segundo sentido de 'paradigma' é o mais profundo dos dois. As alegações que fiz em seu nome são a fonte principal das controvérsias e incompreensões que o livro provocou. São em especial a fonte da acusação de que faço da ciência um empreendimento subjetivo e irracional. Tais questões são consideradas nas Subseções 4 e 5. A primeira argumenta que termos como 'subjetivo' e 'intuitivo' não podem ser aplicados apropriadamente aos componentes de conhecimento que descrevi como tacitamente implicados em exemplos compartilhados. Embora tal conhecimento não seja, sem mudança essencial, sujeito a paráfrase em termos de regras e critérios, ele é, não obstante, sistemático, amplamente testado e, em algum sentido, revisável. A Subseção 5 aplica esse argumento ao problema da escolha entre duas teorias incompatíveis, instando, em conclusão breve, que pessoas que mantêm pontos de vista incomensuráveis devam ser pensadas como membros de comunidades de linguagem diferentes, e que seus problemas de comunicação devam ser analisados como problemas de tradução. Três questões residuais são discutidas nas Subseções finais 6 e 7. A primeira considera a acusação de que a visão de ciência desenvolvida nesse livro é relativista do começo ao fim. A segunda começa indagando se meu argumento realmente sofre, como foi dito, de uma confusão entre os modos descritivo e normativo. Ela se encerra com breves notas sobre um tópico que merece um ensaio separado: a extensão em que as principais teses do livro podem ser legitimamente aplicadas a outros campos além da ciência.

1. Paradigmas e Estrutura Comunitária

O termo 'paradigma' entra nas páginas precedentes logo de início, e a sua maneira de entrar é intrinsecamente circular. Um paradigma é aquilo que os membros de uma comunidade científica compartilham e, inversamente, uma comunidade científica consiste das pessoas que compartilham um paradigma. Nem toda circularidade é viciosa – vou defender um argumento de estrutura similar mais tarde, nesse Posfácio –, mas essa circularidade é uma

fonte de reais dificuldades. As comunidades científicas podem e deveriam ser individualizadas sem que se recorra previamente aos paradigmas. Desse modo, os paradigmas podem ser descobertos por meio da averiguação do comportamento dos membros de uma comunidade dada. Se esse livro estivesse sendo reescrito, ele começaria, portanto, com uma discussão da estrutura comunitária da ciência – um tópico que se tornou recentemente um significativo objeto da investigação sociológica e que os historiadores da ciência também estão começando a levar a sério. Resultados preliminares, muitos dos quais ainda não publicados, sugerem que as técnicas empíricas requeridas para a exploração da estrutura comunitária da ciência não são triviais. Contudo, algumas dessas técnicas estão à mão e outras estão com o desenvolvimento garantido.¹⁶⁹ A maioria dos cientistas em ação responde sem pestanejar questões sobre suas afiliações comunitárias, dando por certo que a responsabilidade pelas diversas especialidades correntes é distribuída entre grupos com participação determinada, pelo menos em linha gerais. Portanto, vou aqui presumir que meios mais sistemáticos para a identificação desses grupos serão encontrados. Ao invés de apresentar resultados de pesquisa preliminares, deixe-me verbalizar brevemente a noção intuitiva de comunidade que subjaz extensivamente aos capítulos antecedentes desse livro. Trata-se de uma noção que hoje é amplamente compartilhada por cientistas, sociólogos e um certo número de historiadores da ciência.

Nessa perspectiva, uma comunidade científica consiste dos praticantes de uma especialidade científica. Eles foram submetidos a processos educativos e iniciações profissionais similares em uma extensão sem paralelo na maioria dos outros campos. No percurso, eles absorveram a mesma literatura técnica e tiraram dela as mesmas lições. Usualmente os limites dessa literatura padrão marcam os limites de um objeto de investigação científica, e cada comunidade científica tem seu objeto de investigação específico. Há escolas nas ciências. Isto é, escolas que abordam o mesmo objeto de investigação a partir de pontos de vista incompatíveis. Mas elas são de longe mais raras que em outros campos. Ademais, sua competição em geral termina rapidamente. Como resultado, os membros de uma

169 W. O. Hagstrom, *The Scientific Community* (New York, 1965), caps. iv e v; D. J. Price e D. de B. Beaver, "Collaboration in an Invisible College", *American Psychologist*, XXI (1966), 1011-18; Diana Crane, "Social Structure in a Group of Scientists: A Test of the 'Invisible College' Hypothesis", *American Sociological Review*, XXXIV (1969), 335-52; N. C. Mullins, *Social Networks among Biological Scientists*, (diss. de Ph.D., Harvard University, 1966), e "The Micro-Structure of an Invisible College: The Phage Group" (artigo apresentado no encontro anual da American Sociological Association, Boston, 1968).

comunidade científica vêm-se e são vistos pelos outros como pessoas responsáveis com exclusividade pela perseguição de um conjunto de metas compartilhadas, entre as quais o treinamento de seus sucessores. Dentro de tais grupos a comunicação é relativamente plena e o ajuizamento profissional relativamente unânime. Por outro lado, porque a atenção de diferentes comunidades científicas é focada em diferentes objetos, a comunicação profissional que cruza as fronteiras intergrupais é por vezes árdua, resultando em frequentes incompreensões. Além disso, quando se dá sequência a ela, pode evocar discordâncias significativas e previamente insuspeitadas.

Comunidades – nesse sentido – existem, é claro, em numerosos níveis. A comunidade mais abrangente é a de todos os cientistas naturais. Em um nível um pouquinho inferior os principais grupos científicos profissionais são as comunidades dos físicos, químicos, astrônomos, zoólogos e outras assemelhadas. Nesses agrupamentos mais amplos, a condição de membro da comunidade é facilmente determinada – exceto em suas margens. O domínio do nível mais avançado daquilo que se investiga, a participação em associações profissionais e a leitura de revistas especializadas ordinariamente são mais que suficientes para isso. Técnicas similares também vão isolar os subgrupos mais importantes: químicos orgânicos – e talvez, entre eles, os químicos de proteínas –, físicos do estado sólido e físicos de altas energias, radioastrônomos e assim por diante. É apenas no nível inferior próximo imediato que emergem os problemas empíricos. Para tomar um exemplo contemporâneo, como se poderia isolar o grupo “fago” antes da sua consagração pública? Para esse propósito dever-se-ia recorrer à frequência dos cientistas a conferências especializadas, à distribuição de rascunhos datilografados ou provas de impressão anteriores à publicação, e acima de tudo às redes formais e informais de comunicação, incluindo aquelas evidenciadas na correspondência e nas interconexões de citações.¹⁷⁰ Presumo que isso pode e será feito pelo menos com relação à cena contemporânea e às partes mais recentes da cena histórica. Tipicamente, isso pode produzir comunidades de, talvez, cem membros e, ocasionalmente, significativamente menos. Em geral, individualmente os cientistas – particularmente os mais hábeis – pertencerão a vários desses grupos, seja simultaneamente ou em sucessão.

170 Eugen Garfield, *The Use of Citation Data in Writing the History of Science* (Philadelphia: Institute of Scientific Information, 1964); M. M. Kessler, “Comparison of the Results of Bibliographic Coupling and Analytic Subject Indexing”, *American Documentation*, XVI (1965), 223-33; D. J. Price, “Networks of Scientific Papers”, *Science*, CIL (1965), 510-15.

Comunidades desse tipo são as unidades que esse livro apresentou como as produtoras e convalidadoras do conhecimento científico. Os paradigmas são algo compartilhado pelos membros de tais grupos. Sem referência à natureza desses elementos compartilhados, muitos aspectos da ciência descritos nas páginas precedentes sequer podem ser compreendidos. Mas outros aspectos podem, embora eles não tenham sido apresentados de modo independente em meu texto original. Portanto, antes que nos voltemos diretamente para os paradigmas, é importante que consideremos uma série de questões que requerem referência apenas à estrutura da comunidade.

Provavelmente a mais impressionante dessas questões é aquilo que denominei a transição do período pré-paradigmático para o período pós-paradigmático no desenvolvimento de um campo científico. Trata-se da transição que esbocei na Seção II, acima. Antes que ela ocorra, um certo número de escolas compete pela dominação de um campo dado. Em sequência, na onda de algum trabalho científico notável, o número de escolas é grandemente reduzido – ordinariamente é reduzido a um –, dando início a um modo de prática científica mais eficiente. Esse último restringe-se a um grupo de iniciados e se orienta para a resolução de charadas, algo em que o trabalho de um grupo científico pode se transformar tão somente quando seus membros dão por presumidas as fundações de seu campo.

A natureza dessa transição para a maturidade merece uma discussão mais completa do que ela recebeu no livro, particularmente por parte daqueles interessados no desenvolvimento das ciências sociais contemporâneas. Para esse fim, pode ajudar a indicação de que a transição não precisa – hoje penso que não deveria – ser associada com a primeira aquisição de um paradigma. Os membros de todas as comunidades científicas – incluindo as escolas do período “pré-paradigmático” – compartilham tipos de elementos que em conjunto eu rotulei como 'um paradigma'. O que muda com a transição para a maturidade não é a presença de um paradigma. O que muda é a natureza do paradigma. Só depois da mudança a investigação normal de resolução de charadas é possível. Muitos dos atributos de uma ciência desenvolvida que eu associei acima com um paradigma, portanto, atualmente eu discutiria como consequência da aquisição de um paradigma que identifica charadas desafiadoras, oferece as dicas para que elas sejam solucionadas e garante que os cientistas mais espertos vão ser bem sucedidos nisso. Apenas aqueles que foram encorajados pela observação de que seu próprio campo, ou

escola, tem paradigmas vão provavelmente sentir que algo importante é sacrificado pela mudança.

Mais importante, pelo menos para os historiadores, a segunda questão diz respeito à identificação implícita, ponto a ponto, das comunidades científicas com os objetos de investigação científica. Eu agi repetidamente como se, digamos, 'ótica física', 'eletricidade' e 'calor' devessem nomear comunidades científicas porque nomeariam objetos para a investigação. A única alternativa que meu texto pareceu permitir foi que todos esses objetos integrassem a comunidade dos físicos. Identificações desse tipo, entretanto, não resistirão a exame, como apontaram repetidamente meus colegas historiadores. Não houve qualquer comunidade dos físicos antes de meados do século dezenove. A partir daí a comunidade dos físicos formou-se pela fusão de partes de duas comunidades anteriormente separadas: a matemática e a filosofia natural (*physique expérimentale*). Aquilo que hoje é objeto de investigação para uma só e ampla comunidade, foi no passado distribuído de diversas maneiras entre diversas comunidades. Outros objetos mais limitados – por exemplo, o calor e a teoria da matéria – subsistiram por longos períodos sem se tornar a província especial de qualquer comunidade científica isolada. Tanto a ciência normal quanto as revoluções são, contudo, atividades fundamentalmente comunitárias. Para que se as descubra e analise, deve-se em primeiro lugar desemaranhar a estrutura cambiante das ciências no decorrer do tempo. Em primeira instância, um paradigma governa um grupo de cientistas, e não um objeto de investigação. Qualquer estudo da pesquisa direcionada por um paradigma – ou da pesquisa que desmantela um paradigma – deve começar pela delimitação do grupo ou grupos responsáveis.

Quando a análise do desenvolvimento científico é abordada dessa maneira, é provável que várias dificuldades que foram focos de atenção crítica se desvançam. Alguns comentadores, por exemplo, usaram a teoria da matéria para sugerir que eu superestimo drasticamente a unanimidade dos cientistas em sua devoção a um paradigma. Em termos comparativos, eles assinalam que até recentemente as teorias da matéria foram tópicos de contínuo desacordo e debate. Concorro com a descrição, mas não acho que seja um contraexemplo. Teorias da matéria não eram – pelo menos até em torno de 1920 – a província especial ou o objeto de investigação de qualquer comunidade científica. No lugar disso, elas eram ferramentas para um grande número de grupos de especialistas. Membros de diferentes comunidades às vezes escolhem ferramentas diferentes e criticam a escolha feita por outros. É mais importante

ainda o fato de que uma teoria da matéria não é a espécie de tópico sobre o qual mesmo os membros de uma comunidade particular devam necessariamente concordar. A necessidade de acordo depende daquilo que a comunidade faz. Na primeira metade do século dezenove, a química oferece um exemplo disso. Embora várias das ferramentas fundamentais da comunidade – proporção constante, proporção múltipla e pesos combinados – tenham-se tornado propriedade comum como resultado da teoria atômica de Dalton, depois disso era bem possível para os químicos basear seu trabalho nessas ferramentas e discordar, às vezes veementemente, sobre a existência de átomos.

Algumas outras dificuldades e incompreensões serão, acredito, dissolvidas da mesma maneira. Em parte devido aos exemplos que escolhi e em parte devido à minha vagueza sobre a natureza e o tamanho das comunidades relevantes, uns poucos leitores desse livro concluíram que minha preocupação é primariamente ou exclusivamente com as grandes revoluções, a exemplo daquelas associadas com Copérnico, Newton, Darwin ou Einstein. Um delineamento mais claro da estrutura da comunidade, contudo, ajudaria a reforçar a impressão um tanto diferente que eu tentei criar. Para mim, uma revolução é um tipo especial de mudança que envolve um certo tipo de reconstrução dos comprometimentos do grupo. Mas a revolução não precisa ser uma mudança de grande amplitude, nem precisa parecer revolucionária para os que estão fora da comunidade em questão, que pode consistir em talvez menos de vinte cinco pessoas. É exatamente porque esse tipo de mudança – pouco reconhecida ou discutida na literatura da filosofia da ciência – ocorre tão regularmente nessa escala menor, que a transformação revolucionária, em contraponto com a mudança cumulativa, precisa ser tão empenhadamente compreendida.

Uma última alteração, intimamente relacionada com a precedente, pode ajudar a tornar mais fácil tal compreensão. Alguns críticos duvidaram de que a crise – a consciência generalizada de que algo saiu errado – precede tão invariavelmente a revolução, como eu dei a entender no meu texto original. Nada relevante para o meu argumento, contudo, depende de que as crises sejam um pré-requisito absoluto das revoluções. Elas precisam ser apenas o prelúdio usual que oferece, por assim dizer, um mecanismo de autocorreção que assegura que a rigidez da ciência normal não permanecerá incontestada para sempre. As revoluções também podem ser induzidas de outras maneiras, embora eu pense que isso seja raro. Em acréscimo, gostaria de indicar agora aquilo que a falta de uma

discussão adequada da estrutura da comunidade obscureceu no livro: as crises não precisam ser geradas pelo próprio trabalho da comunidade que as experimenta e que, às vezes, como resultado, sujeita-se a uma revolução. Novos instrumentos como o microscópio eletrônico ou novas leis como as de Maxwell podem desenvolver-se em uma comunidade e a sua assimilação criar uma crise em outra.

2. Paradigmas como a Constelação dos Comprometimentos do Grupo

Voltemo-nos agora para os paradigmas e perguntemos o que eles possivelmente podem ser. Meu texto original não deixa qualquer outra questão mais obscura ou mais importante. Uma leitora simpatizante – que compartilha minha convicção de que ‘paradigma’ dá nome aos elementos filosóficos centrais do livro – preparou um índice analítico parcial e concluiu que o termo é utilizado de vinte duas maneiras diferentes, pelo menos.¹⁷¹ A maior parte daquelas diferenças, penso agora, é devida a inconsistências estilísticas que podem ser eliminadas com relativa facilidade. Por exemplo, as Leis de Newton às vezes são um paradigma, às vezes são partes de um paradigma e às vezes são paradigmáticas. Mas, com esse trabalho editorial feito, dois usos muito diferentes do termo paradigma subsistiriam, e eles requerem separação. O uso mais global é o objeto dessa subseção. O outro será considerado na próxima.

Depois de isolar uma comunidade particular de especialistas com técnicas como aquelas que acabamos de discutir, pode-se proveitosamente perguntar. O que os membros da comunidade compartilham que responde pela relativa plenitude de sua comunicação profissional e pela relativa unanimidade de seus juízos profissionais? Para tal questão, meu texto original autoriza a seguinte resposta: um paradigma ou um conjunto de paradigmas. Mas, para esse uso – à diferença daquele discutido abaixo –, o termo não é apropriado. Os próprios cientistas diriam que compartilham uma teoria ou um conjunto de teorias. Eu me alegrarei se o termo paradigma puder ser, no fim das contas, reapropriado para esse uso. Tal como usado correntemente na filosofia da ciência, contudo, o termo ‘teoria’ conota uma estrutura de longe mais limitada em natureza e abrangência que aquele aqui requerido. Até que o termo ‘paradigma’ possa ser expurgado de suas implicações atuais, adotar um outro vai evitar confusão. Para os propósitos presentes, eu sugiro ‘matriz disciplinar’. ‘Disciplinar’ porque se refere à posse comum

¹⁷¹ Masterman, *op. cit.*

dos cientistas de uma disciplina particular. ‘Matriz’ porque é composta por elementos ordenados de várias espécies, cada um deles requerendo especificação ulterior. Todos ou a maioria dos objetos de comprometimento do grupo que meu texto original transforma em paradigmas, partes de paradigmas ou paradigmáticos são constitutivos da matriz disciplinar. Como tal, eles formam um todo e funcionam em conjunto. Todavia, eles não devem mais ser discutidos como se fossem da mesma classe. Não tentarei fazer aqui uma lista exaustiva, mas considerar os principais tipos de componentes de uma matriz disciplinar vai esclarecer a natureza da minha presente abordagem e simultaneamente preparar para o meu ponto principal, que se segue.

Um importante tipo de componente vou rotular de ‘generalizações simbólicas’. Tenho em mente aquelas expressões, utilizadas sem questionamento ou discordância pelos membros do grupo, que podem ser moldadas em uma forma lógica como $(x)(y)(z) \varphi(x,y,z)$. Elas são os componentes formais ou prontamente formalizáveis da matriz disciplinar. Às vezes elas já são encontradas em forma simbólica: $f=ma$ ou $I=V/R$. Outras vezes são ordinariamente expressas em palavras: “*os elementos combinam-se em proporções constantes de peso*”, ou “*à ação iguala-se a reação*”. Se não fosse a aceitação de expressões como essas, não haveria qualquer ponto de apoio a que os membros do grupo científico pudessem amarrar suas poderosas técnicas de manipulação lógica e matemática em seu empreendimento de resolução de charadas. Ainda que o exemplo da taxonomia sugira que a ciência normal possa avançar com poucas dessas expressões, o poder da ciência parece aumentar muito generalizadamente com o número de generalizações simbólicas que os cientistas têm à sua disposição. Essas generalizações parecem-se com leis da natureza, mas a sua função para os membros do grupo geralmente não é só essa. Às vezes a generalização se apresenta como, por exemplo, a Lei de Joule-Lenz: $Q=RI^2$. Quando essa lei foi descoberta, os membros da comunidade já sabiam a que correspondiam Q , R e I . Essa generalização simplesmente lhes dizia algo sobre o calor, a resistência elétrica e a corrente elétrica que eles desconheciam anteriormente. Mas, como indica a discussão feita anteriormente no livro, mais frequentemente as generalizações simbólicas servem, simultaneamente, para uma segunda função. Uma função que em geral é nitidamente deixada de lado pelos filósofos da ciência em suas análises. Generalizações como $f=ma$ e $I=V/R$ funcionam em parte como leis, mas em parte funcionam como definições de alguns dos símbolos que elas ordenam.

Ademais, o peso relativo entre suas forças legislativas e definicionais inseparáveis altera-se no decorrer do tempo. Em outro contexto, esses tópicos deveriam encontrar compensação em uma análise detalhada, já que o comprometimento com uma lei é muito diferente do comprometimento com uma definição. Em geral as leis são corrigíveis pouco a pouco, mas as definições, sendo tautologias, não são. Por exemplo, parte daquilo que a aceitação da Lei de Ohm demandou foi uma redefinição de ‘corrente’ e de ‘resistência’. Se tais termos tivessem continuado a significar o que significavam anteriormente, a Lei de Ohm não poderia estar certa. Por isso ela sofreu oposição tão vigorosa, ao contrário, digamos, da Lei de Joule-Lenz.¹⁷² Provavelmente essa situação seja típica. Atualmente eu suspeito que todas as revoluções envolvem, entre outras coisas, o abandono de generalizações cuja força tinha sido, em alguma medida, aquela das tautologias. Einstein mostrou que a simultaneidade era relativa ou ele alterou a própria noção de simultaneidade? Estariam errados aqueles que detectavam um paradoxo na expressão ‘relatividade da simultaneidade’?

Consideremos a seguir um segundo tipo de componente da matriz disciplinar. Sobre esse componente muito já foi dito no meu texto original sob rubricas tais como ‘paradigmas metafísicos’ ou ‘partes metafísicas dos paradigmas’. Tenho em mente os comprometimentos compartilhados de crenças como: ‘o calor é a energia cinética das partes constitutivas dos corpos’; ‘todos os fenômenos perceptíveis são devidos à interação de átomos qualitativamente neutros no vazio’, ou – alternativamente – ‘todos os fenômenos perceptíveis são devidos à matéria e à força, ou aos campos’. Reescrevendo o livro agora, eu descreveria tais comprometimentos como crenças em modelos particulares. Ademais, eu expandiria a categoria dos modelos para que incluísse também a variedade relativamente heurística: ‘o circuito elétrico pode ser considerado como um sistema hidrodinâmico em estado estável’; ‘as moléculas de um gás comportam-se como minúsculas bolas de bilhar elásticas em movimento aleatório’. Embora a força das sujeições do grupo varie – com consequências não triviais – ao longo de um espectro que vai dos modelos heurísticos até os modelos ontológicos, todos os modelos têm funções similares. Entre outras coisas, eles fornecem ao grupo as analogias e metáforas preferidas ou permissíveis. Assim fazendo, os modelos ajudam a determinar aquilo

172 Para partes significativas desse episódio ver: T. M. Brown, “The Electric Current in Early Nineteenth-Century French Physics”, *Historical Studies in the Physical Sciences*, I (1969), 61-103, e Morton Schagrin, “Resistance to Ohm’s Law”, *American Journal of Physics*, XXI (1963), 536-47.

que vai ser aceito como uma explanação e como uma resolução de charada. Inversamente, eles ajudam na determinação da lista de charadas não resolvidas e na avaliação da importância de cada uma delas. Note-se, contudo, que os membros da comunidade científica podem não ter que compartilhar nem mesmo os modelos heurísticos, ainda que o façam com frequência. Já indiquei que a participação na comunidade dos químicos durante a primeira metade do século dezanove não exigia a crença em átomos.

Um terceiro tipo de elemento da matriz disciplinar devo descrever aqui como valores. Em geral eles são bem mais amplamente compartilhados entre as diferentes comunidades que as generalizações simbólicas ou os modelos. Os valores fazem muito para proporcionar uma percepção de comunidade aos cientistas naturais como um todo. Embora os valores funcionem o tempo todo, sua importância particular emerge quando os membros de uma determinada comunidade devem identificar uma crise ou, posteriormente, quando têm que escolher entre modos incompatíveis de praticar a sua disciplina. Provavelmente os valores mais profundamente enraizados digam respeito às predições. Elas deveriam ser acuradas. As predições quantitativas são preferíveis às qualitativas. Qualquer que seja a margem permissível de erro, elas devem ser consistentemente efetivadas em um dado campo, e assim por diante. Entretanto, também há valores utilizados no julgamento das teorias como um todo. Antes de mais nada e acima de tudo, elas devem permitir a formulação e a resolução de charadas. Onde possível, elas deveriam ser simples, autoconsistentes, plausíveis e compatíveis com outras teorias utilizadas correntemente. Hoje penso que seja uma fragilidade do meu texto original que tão pouca atenção tenha sido dada a valores tais como a consistência interna e externa na consideração das fontes de crise, e como fatores da escolha da teoria. Ainda existem outros tipos de valores – por exemplo, a ciência deveria (ou não precisa) ser socialmente útil? –, mas os apontados acima deveriam exemplificar o que tenho em mente.

Um aspecto dos valores compartilhados, entretanto, requer menção especial. Em uma extensão maior que outros componentes da matriz disciplinar, os valores podem ser compartilhados por pessoas que se diferenciam quanto à sua aplicação. Juízos sobre exatidão são relativamente – ainda que não inteiramente – estáveis de um período a outro e de um cientista para outro em um grupo particular. Juízos de simplicidade, consistência, plausibilidade, etc., variam enormemente de indivíduo para indivíduo. O que para Einstein foi uma inconsistência insuportável da teoria quântica – uma

inconsistência que tornava impossível o prosseguimento da ciência normal –, para Bohr e outros foi uma dificuldade que poderia ser solucionada por meios normais. Naquelas situações em que os valores devem ser aplicados, tem ainda maior importância que diferentes valores tomados isoladamente dizem com frequência escolhas diferentes. Uma teoria pode ser mais precisa, mas menos consistente ou plausível que outra. Sobre isso a teoria quântica também oferece um exemplo. Em resumo, embora os valores sejam amplamente compartilhados pelos cientistas – e ainda que a sujeição a eles seja profunda e também constitutiva da ciência –, a aplicação dos valores é às vezes consideravelmente afetada pelos traços individuais de personalidade e de biografia que diferenciam os membros do grupo.

Para muitos leitores dos capítulos precedentes essa característica da operacionalização dos valores compartilhados pareceu uma fragilidade relevante da minha posição. Pela razão de eu insistir em que aquilo que os cientistas compartilham não é suficiente para determinar a concordância uniforme sobre questões tais como a escolha entre teorias concorrentes ou a distinção entre uma anomalia ordinária e uma anomalia provocadora de crise, ocasionalmente sou acusado de glorificar a subjetividade e até mesmo a irracionalidade.¹⁷³ Mas, essa reação ignora duas características apresentadas pelos juízos de valor em qualquer campo. Primeiro, os valores compartilhados podem ser importantes direcionadores do comportamento do grupo, mesmo que os membros do grupo não os apliquem exatamente do mesmo modo. Não fora esse o caso, não haveria quaisquer problemas filosóficos especiais sobre teoria do valor ou sobre estética. As pessoas não pintavam de modo idêntico durante os períodos em que a representação era um valor primário, mas o padrão de desenvolvimento das artes plásticas mudou drasticamente quando aquele valor foi abandonado.¹⁷⁴ Podemos imaginar o que aconteceria nas ciências se a consistência cessasse de ser um valor primário. Segundo, a variabilidade individual na aplicação dos valores compartilhados pode estar a serviço de funções essenciais para a ciência. Os pontos a que os valores devem ser aplicados também são invariavelmente aqueles em que riscos devem ser assumidos. A maioria das anomalias é resolvida por meios normais. A maioria das propostas de novas teorias prova-se errada. Se todos os membros da

173 Ver particularmente: Dudley Shapere, “Meaning and Scientific Change”, in *Mind and Cosmos: Essays in Contemporary Science and Philosophy*, The University of Pittsburgh Series in the Philosophy of Science, III (Pittsburgh, 1966), 41-45; Israel Scheffler, *Science and Subjectivity* (New York, 1967); e os ensaios de Sir Karl Popper e Imre Lakatos em *Growth of Knowledge*.

174 Ver a discussão no começo da Seção XIII, acima.

comunidade respondessem a cada anomalia como se ela fosse uma fonte de crise – ou abraçassem cada nova teoria apresentada por um colega –, a ciência colapsaria. Se, por outro lado, ninguém reagisse às anomalias ou às teorias novinhas em folha enveredando por caminhos de alto risco, haveria poucas revoluções – ou nenhuma. Em questões como essas, o recurso aos valores compartilhados em detrimento das prescrições compartilhadas que governam a escolha individual pode ser a maneira da comunidade distribuir o risco e assegurar o sucesso de longo prazo de seu empreendimento.

Voltemo-nos agora para um quarto tipo de elemento da matriz disciplinar. Não se trata de elemento de outra espécie, mas do último elemento que devo discutir aqui. Para ele o termo ‘paradigma’ seria inteiramente apropriado, tanto do ponto de vista filológico quanto do ponto de vista autobiográfico. Esse é o componente dos compartilhamentos do grupo que me levou inicialmente a escolher a palavra ‘paradigma’. Uma vez que o termo adquiriu vida própria, contudo, vou substituí-lo aqui por ‘exemplares’. Inicialmente, quero dizer com ‘exemplares’ as soluções concretas de problemas que os estudantes encontram desde o começo da sua educação científica, seja nos laboratórios, nos exames ou no final dos capítulos dos livros didáticos científicos. A esses exemplos compartilhados deveriam, entretanto, ser adicionadas pelo menos algumas das soluções técnicas de problemas encontradas na literatura de periódicos que os cientistas encontram durante suas carreiras de pesquisa posteriores à formação educacional, e que também lhes mostram pelo exemplo como seu trabalho deve ser feito. Mais que os outros tipos de componentes da matriz disciplinar, as diferenças entre conjuntos de exemplares proporcionam o refinamento da estrutura comunitária da ciência. Todos os físicos, por exemplo, começam aprendendo os mesmos exemplares: problemas tais como o plano inclinado, o pêndulo cônico e as órbitas keplerianas, além do uso de instrumentos como o vernier, o calorímetro e a ponte de Wheatstone. Na medida em que seu treinamento prossegue, entretanto, as generalizações simbólicas que eles compartilham passam a ser crescentemente ilustradas por exemplares diferentes. Embora tanto os físicos do estado sólido quanto os físicos da teoria dos campos compartilhem a equação de Schrödinger, apenas as suas aplicações mais elementares são comuns aos dois grupos.

3. Paradigmas como Exemplos Compartilhados

O paradigma como exemplo compartilhado é o elemento central daquilo que hoje considero o aspecto mais inovador e menos compreendido desse livro. Portanto, os exemplares vão requerer mais atenção que os outros componentes da matriz disciplinar. Os filósofos da ciência não têm, em geral, discutido os problemas que um estudante encontra nos laboratórios ou nos textos científicos. Pensa-se que esses problemas apenas ofereçam um exercício prático para a aplicação daquilo que o estudante já sabe. É dito que o estudante não pode aprender a resolver quaisquer problemas, a menos que já tenha aprendido antes a teoria e algumas regras de sua aplicação. Todavia, eu tentei argumentar que essa alocação do conteúdo cognitivo da ciência está errada. Depois que o estudante já resolveu muitos problemas, ele apenas pode adquirir uma facilidade maior para resolver outros problemas. Mas no início – e ainda por mais algum tempo –, resolver problemas é aprender coisas significativas sobre a natureza. Na falta de tais exemplares, as leis e teorias que ele possa ter aprendido anteriormente teriam escasso conteúdo empírico.

Para indicar o que tenho em mente, volto brevemente às generalizações simbólicas. Um exemplo amplamente compartilhado é a Segunda Lei do Movimento de Newton, geralmente escrita como $f=ma$. O sociólogo, digamos, ou o linguista que descobre que a expressão correspondente é proferida e recebida de modo não problemático pelos membros de uma dada comunidade não terá, sem muita investigação adicional, aprendido sobre aquilo que tanto a expressão quanto os termos que a constituem significam. E não terá aprendido sobre como os cientistas da comunidade afixam a expressão à natureza. Efetivamente, o fato de que eles a aceitem sem questionamento e a utilizem como um ponto de entrada para a manipulação lógica e para a manipulação matemática por si mesmo não implica que eles concordem completamente sobre questões tais como significado e aplicação. Claro que eles concordam em extensão considerável. Do contrário, o fato emergiria rapidamente de sua conversação subsequente. Mas, pode-se muito bem perguntar em que ponto e por quais meios eles chegaram a fazê-lo. Quando confrontados com uma situação experimental dada, como eles aprenderam a selecionar as forças, massas e acelerações relevantes?

Embora esse aspecto da situação raramente ou nunca é notado, na prática o que os estudantes têm que aprender é ainda mais complexo que isso. Não é exatamente o caso que a manipulação lógica e a manipulação matemática sejam aplicadas diretamente a

$f=ma$. Ao examinar essa expressão, ela se mostra como um esboço de lei ou como um esquema de lei. Na medida em que o estudante ou o cientista em ação movem-se de uma situação problema para a outra, a generalização simbólica a que essas manipulações se aplicam muda.

Para o caso da queda livre, $f=ma$ torna-se $mg=m\frac{d^2s}{dt^2}$. Para o

pêndulo simples, $f=ma$ é transformada em $mg\sin\theta=-ml\frac{d^2\theta}{dt^2}$. Para

um par de osciladores harmônicos interagindo, $f=ma$ se transforma em duas equações, a primeira das quais pode ser escrita

$$m_1\frac{d^2s_1}{dt^2}+k_1s_1=k_2(s_2-s_1+d)$$

. Para situações mais complexas – tal como o giroscópio – a equação adquire outras formas, cuja semelhança de família com $f=ma$ fica ainda mais difícil de descobrir.

Ademais, enquanto aprende a identificar forças, massas e acelerações em várias situações físicas não encontradas anteriormente, o estudante também aprende a formular a versão apropriada de $f=ma$ por meio da qual inter-relacioná-las. Com frequência aprende a formular uma versão para a qual não tenha antes encontrado algum equivalente literal. Como ele aprendeu a fazer isso?

Um fenômeno familiar tanto aos estudantes quanto aos historiadores da ciência fornece uma pista. Os estudantes regularmente relatam que leram um capítulo do livro didático, compreenderam-no perfeitamente mas, não obstante, tiveram dificuldade em resolver um certo número de problemas relacionados no final do capítulo. Ordinariamente, também, tais dificuldades dissolvem-se do mesmo modo. Com ou sem a assistência de seu instrutor, o estudante descobre algum modo de ver seu problema *como* um problema que ele já encontrou. Enxergando a semelhança, captando a analogia entre os dois ou mais problemas distintos, ele pode inter-relacionar os símbolos e afixá-los à natureza do jeito que já se mostrou bem sucedido antes. O esboço de lei – digamos, $f=ma$ – funcionou como uma ferramenta que informou ao estudante quais similaridades procurar, assinalando a configuração estrutural [*Gestalt*] em que a situação deve ser vista. A habilidade resultante para ver várias situações como semelhantes umas às outras – ou seja, como sujeitas a $f=ma$ ou a alguma outra generalização simbólica – é, penso, a principal coisa que o estudante adquire ao resolver problemas exemplares, seja com lápis e papel ou num laboratório concebido adequadamente para isso. Depois que o estudante já resolveu um certo número de problemas – algo que pode variar muito de um indivíduo para outro – ele passará a ver as situações que o confrontarão como cientista dentro da mesma configuração

estrutural [*Gestalt*] que os outros membros de seu grupo de especialistas. Para ele não se tratarão mais das mesmas situações que encontrou quando seu treinamento começou. Apesar disso, ele terá assimilado a maneira de ver testada pelo tempo e autorizada pelo grupo.

O papel das relações de similaridade adquiridas também se mostra claramente na história da ciência. O cientista resolve charadas modelando-as em soluções de charadas anteriores, em geral somente com um mínimo recurso às generalizações simbólicas. Galileu achava que a bola rolando por uma inclinação só adquire velocidade suficiente para retornar à mesma altura vertical em uma segunda inclinação de uma vertente qualquer. E ele aprendeu a ver tal situação experimental como se fosse o pêndulo, com um ponto de massa no lugar do bulbo. Assim Huyghens resolveu o problema do centro de oscilação de um pêndulo físico, imaginando que o corpo extenso do último fosse composto de pontos pendulares galileanos, os nexos entre os quais podendo ser instantaneamente desfeitos em qualquer ponto do balanço. Depois que os nexos fossem desfeitos, os pontos pendulares balançariam livremente, mas o seu centro de gravidade coletivo – quando cada um atingisse seu ponto mais elevado – ascenderia apenas até a altura de que o centro de gravidade do pêndulo estendido começara a cair, como no caso do pêndulo de Galileu. Finalmente, Daniel Bernouille descobriu como fazer com que o fluxo da água a partir de um orifício se parecesse com o pêndulo de Huyghens. Determina o descenso do centro de gravidade da água no tanque e no jato durante um intervalo de tempo infinitesimal. Então imagina que a seguir cada partícula de água se move separadamente para cima, até a altura máxima que pode ser atingida com a velocidade adquirida durante aquele intervalo. O ascenso do centro de gravidade das partículas individuais deve assim igualar-se ao descenso do centro de gravidade da água no tanque e no jato. A partir dessa visão do problema, a longamente procurada velocidade do efluxo decorreu prontamente.¹⁷⁵

Esse exemplo deveria começar a deixar claro o que quero dizer por aprender dos problemas a ver as situações como similares umas às outras, e como sujeitas à aplicação da mesma lei científica ou esboço de lei. Simultaneamente, ele deveria mostrar por que eu me

175 Para esse exemplo, ver: René Dugas, *A History of Mechanics*, trad. J. R. Maddox (Neuchâtel, 1955), pp. 135-36, 186-93, e Daniel Bernouille, *Hydro-dinamica, sive de viribus et motibus fluidorum, commentarii opus academicum* (Strasbourg, 1738), Sec. iii. Para a extensão em que a mecânica progrediu durante a primeira metade do século dezoito pela modelagem de uma solução de problema em outra, ver Clifford Truesdell, “Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error, and Failure in Newton’s *Principia*”, *Texas Quarterly*, X (1967), pp. 238-58.

refiro ao conseguinte conhecimento da natureza adquirido enquanto se aprende as relações de similaridade – e depois incorporados em um modo de ver situações físicas –, ao invés de regras e leis. Os três problemas no exemplo – todos eles exemplares para os físicos da mecânica do século dezoito – desenvolvem uma só lei da natureza. Conhecida como o princípio da *vis viva*, ela era usualmente formulada como: “*O descenso atual iguala-se ao ascenso potencial*”. A aplicação da lei feita por Bernoulli deveria sugerir o quão significativa ela era. Não obstante, a enunciação verbal da lei, tomada por si mesma, é virtualmente impotente. Apresente-a a um estudante contemporâneo de física que conhece as palavras e pode resolver todos esses problemas, mas que agora emprega meios diferentes. Em seguida, imagine que palavras – ainda que todas fossem bem conhecidas – poderiam ter sido ditas para uma pessoa que não conhecesse nem mesmo os problemas. Para essa pessoa a generalização só poderia começar a funcionar quando aprendesse a reconhecer “descensos atuais” e “ascensos potenciais” como ingredientes da natureza. E isso é aprender algo anterior à lei sobre situações que a natureza apresenta e sobre situações que a natureza não apresenta. Esse tipo de aprendizagem não é adquirido por meios exclusivamente verbais. Mais precisamente, trata-se de um tipo de aprendizagem em que as palavras são dadas juntamente com exemplos concretos de como elas funcionam no uso. Natureza e palavras são aprendidas juntas. Tomando emprestada uma vez mais a útil expressão de Michael Polanyi, o que resulta desse processo é “*conhecimento tácito*” que é aprendido fazendo ciência, ao invés de adquirindo regras para fazê-la.

4. *Conhecimento Tácito e Intuição*

Essa referência ao conhecimento tácito – e a simultânea rejeição das regras – isola um outro problema que incomodou muitos de meus críticos e pareceu fornecer uma base para as acusações de subjetividade e irracionalidade. Alguns leitores pressentiram que eu estava tentando fazer a ciência assentar-se sobre intuições individuais não analisáveis, ao invés de se basear na lógica e na lei. Mas essa interpretação equivoca-se em dois pontos essenciais. Primeiro: se estou, em todo caso, falando sobre instituições, elas não correspondem a indivíduos. Elas são, mais precisamente, as possessões testadas e compartilhadas dos membros de um grupo bem sucedido. O noviço adquire-as por meio do treinamento que é parte de sua preparação para a participação no grupo. Segundo: essas

instituições não são, em princípio, inanalísáveis. Pelo contrário, atualmente estou fazendo experiências com um programa de computador projetado para investigar suas propriedades em um nível elementar.

Sobre esse programa eu não teria nada para dizer aqui,¹⁷⁶ mas a sua simples menção já ajudaria na compreensão de minha tese mais essencial. Quando falo de conhecimento implícito em exemplos compartilhados, não estou me referindo a um modo de conhecer que seja menos sistemático e menos analisável que o conhecimento implícito em regras, leis ou critérios de identificação. Em vez disso, tenho em mente uma maneira de conhecer que é mal interpretada se for reconstruída em termos de regras que primeiro são abstraídas dos exemplares, para em seguida funcionar em seu lugar. Ou, para apresentar o mesmo tópico diferentemente, quando falo em adquirir por meio dos exemplares a habilidade para reconhecer uma situação dada como similar a algumas situações e dissimilar a outras que já foram vistas antes, não estou sugerindo um processo que não seja potencialmente explicável nos termos de um mecanismo neurocerebral. Em vez disso, estou pleiteando que a explicação, pela sua natureza, não vai responder a questão “*Similar com relação a quê?*”. Tal questão é a demanda de uma regra – no caso, do critério pelo qual situações particulares são agrupadas em conjuntos de similaridade –, e eu estou argumentando que, nesse caso, deveríamos resistir à tentação de se buscar critérios. Ou pelo menos um conjunto completo de critérios. Não estou me opondo a todo e qualquer sistema. Estou me opondo a um tipo particular de sistema.

Para dar substância a esse tópico, devo fazer uma breve digressão. O que se segue parece óbvio para mim agora, mas o recurso constante a expressões como “*mudanças de mundo*” em meu texto original sugere que não foi sempre assim. Se duas pessoas posicionam-se no mesmo lugar e olham fixamente na mesma direção, nós devemos concluir que elas recebem estímulos de estreita similaridade, sob pena de solipsismo.¹⁷⁷ Mas as pessoas não veem estímulos. Nosso conhecimento deles é altamente teórico e abstrato. No lugar dos estímulos, as pessoas têm sensações. E não estamos com qualquer propensão para supor que as sensações de nossos dois espectadores sejam as mesmas.¹⁷⁸ Pelo contrário, muito processamento neural ocorre entre a recepção de um estímulo e a consciência de uma sensação. Entre as poucas coisas que sabemos

176 Alguma informação sobre essa matéria pode ser encontrada em “Second Thoughts”.

177 Se ambas pudessem fixar seus olhos no mesmo lugar, os estímulos seriam idênticos.

178 Os cétricos poderiam lembrar que a cegueira para as cores não foi notada em lugar algum até que John Dalton a descrevesse em 1794.

com segurança sobre isso estão: que estímulos muito diferentes podem produzir as mesmas sensações; que o mesmo estímulo pode produzir sensações muito diferentes; e, finalmente, que o caminho do estímulo à sensação é em parte condicionado pela educação. Indivíduos criados em diferentes sociedades comportam-se em certas ocasiões como se vissem coisas diferentes. Deveríamos reconhecer que tudo se passa dessa forma, se não fôssemos tentados a identificar os estímulos em correspondência exata com as sensações. Mencione-se que dois grupos cujos membros têm sistematicamente diferentes sensações na recepção dos mesmos estímulos vivem *em certo sentido* em mundos diferentes. Postulamos a existência de estímulos para explicar nossas percepções do mundo, e postulamos sua imutabilidade para evitar tanto o solipsismo individual quanto o solipsismo social. Não tenho qualquer reserva sobre nenhum desses postulados. Mas nosso mundo não é povoado em primeira instância pelos estímulos, mas pelos objetos de nossas sensações. E essas não precisam ser as mesmas nem de indivíduo para indivíduo nem de grupo para grupo. É claro que, na medida em que indivíduos pertencem ao mesmo grupo – compartilhando assim a educação, a linguagem, a experiência e a cultura –, temos boa razão para supor que suas sensações sejam as mesmas. De que outro modo poderíamos compreender a plenitude de sua comunicação e a uniformidade social de suas respostas comportamentais a seu ambiente? Eles devem ver coisas, processar estímulos, praticamente das mesmas maneiras. Mas não temos nenhuma evidência similar para a imutabilidade da sensação a partir de onde começa a diferenciação e a especialização dos grupos. Suspeito que mero provincianismo nos faz supor que o caminho dos estímulos à sensação é o mesmo para os membros de todos os grupos.

Retornando agora aos exemplares e regras, aquilo que venho tentando sugerir é isso, ainda que de modo preliminar. Uma das técnicas fundamentais pela qual os membros de um grupo – seja toda uma cultura ou uma subcomunidade de especialistas dentro dela – aprendem a ver as mesmas coisas quando confrontados com os mesmos estímulos é a exposição a exemplos de situações que seus antecessores no grupo já aprenderam a ver como parecidas entre si e como diferentes de outros tipos de situações. Essas situações similares podem ser sucessivas apresentações do mesmo indivíduo. Sucessivas apresentações da mãe, digamos, que é por fim reconhecida à primeira vista pelo que é e como diferente do pai ou da irmã. Elas podem ser apresentações de membros de famílias naturais – digamos dos cisnes, por um lado, e dos gansos, por outro lado. Ou elas

podem, para os membros de grupos mais especializados, ser exemplos de situação newtoniana. Isto é, exemplos de situações que se assemelham em sua sujeição a uma versão da forma simbólica $f=ma$, e que são diferentes daquelas situações a que se aplicam, por exemplo, os esboços de lei da ótica.

Consideremos por enquanto que algo desse tipo efetivamente ocorre. Poderíamos dizer que aquilo que foi adquirido por meio dos exemplares são regras e habilidade em aplicá-las? Tal descrição é tentadora porque nossa visão de uma certa situação como sendo similar a outras que já encontramos antes deve ser o resultado de um processamento neural inteiramente governado por leis físicas e químicas. Nesse sentido, uma vez que tenhamos aprendido a fazer isso, o reconhecimento da similaridade deve ser tão plenamente sistêmico como o bater de nossos corações. Mas precisamente esse paralelo sugere que o reconhecimento da similaridade também pode ser involuntário: um processo sobre o qual não tenhamos qualquer controle. Se assim é, então não podemos concebê-lo como algo que gerenciamos pela aplicação de regras e critérios. Falar do reconhecimento de similaridades nesses termos implica que tenhamos acesso a alternativas; que poderíamos, por exemplo, ter desobedecido uma regra ou aplicado erradamente um critério; ou que tenhamos feito experiências com alguma outra maneira de ver.¹⁷⁹ Considero que tudo isso são coisas que não podemos fazer.

Ou, mais precisamente, tudo isso são coisas que não podemos fazer até que tenhamos tido uma sensação, percebido algo. Quando isso ocorre, com frequência procuramos critérios para por essas coisas em uso. Após ter tido uma sensação ou percebido algo, podemos nos engajar em uma interpretação: um processo deliberativo pelo qual escolhemos entre alternativas, algo que não é possível na própria percepção. Talvez, por exemplo, algo esteja esquisito naquilo que acabamos de ver – lembremo-nos das cartas de baralho anômalas. Ao virar a esquina, vemos nossa mãe entrando em uma loja do centro da cidade, num momento em que pensávamos que ela estivesse em casa. Ponderando sobre o que vimos, de repente exclamamos: “*Aquela não era minha mãe porque ela é ruiva*”. Entrando na loja, vemos a mulher de novo e não podemos compreender como ela poderia ter sido tomada pela minha mãe. Ou, talvez, vemos as penas da cauda de uma ave aquática com a cabeça

179 Esse ponto jamais precisaria elaboração se todas as leis fossem como as Leis de Newton e todas as regras fossem como os Dez Mandamentos. No primeiro caso, ‘infringir uma lei’ seria absurdo. No segundo caso uma rejeição de regras não pareceria implicar um processo não governado por lei. Desafortunadamente, as leis de trânsito e outros produtos similares da legislação podem ser infringidos, o que facilita a confusão.

submersa, pegando alimento no fundo de uma lagoa rasa. É um cisne ou um ganso? Ponderamos sobre o que vimos, comparando mentalmente as penas da cauda com aquelas dos cisnes e gansos que vimos antes. Ou talvez, como protocientistas, nós simplesmente queremos saber alguma característica – a brancura dos cisnes, por exemplo – dos membros de uma família natural que já podemos reconhecer com facilidade. De novo, ponderamos sobre aquilo que tínhamos percebido previamente em busca do que os membros de uma dada família têm em comum.

Todos esses são processos deliberativos, e neles nós procuramos e sistematizamos critérios e regras. Isto é, nós tentamos interpretar sensações já disponíveis para analisar aquilo que nos é dado. Não obstante fazermos tudo isso, os processos envolvidos devem ser em última instância neurais. São, portanto, governados pelas mesmas leis psicoquímicas que governam por um lado a percepção e, por outro, o batimento de nossos corações. Mas o fato de que o sistema obedece às mesmas leis nos três casos não nos dá nenhuma razão para supor que nosso aparato neural esteja programado para operar da mesma forma na interpretação e na percepção, ou até mesmo nos nossos batimentos cardíacos. Portanto, nesse livro estou me opondo à tentativa – que remonta a Descartes, mas não antes dele – de analisar a percepção como um processo interpretativo; como uma versão inconsciente daquilo que fazemos apenas depois de termos percebido.

O que torna essa integridade da percepção digna de ênfase é, claro, o tanto de experiência passada corporificada no aparato neural que transforma os estímulos nas sensações. Um mecanismo perceptivo programado apropriadamente tem valor para a sobrevivência. Dizer que os membros de diferentes grupos podem ter diferentes percepções quando confrontados com os mesmos estímulos não implica que possam ter toda e qualquer percepção. Em muitos ambientes um grupo que não pudesse discernir lobos de cães não poderia durar. Nem poderiam subsistir como cientistas os membros de um grupo contemporâneo de físicos nucleares que fossem incapazes de reconhecer as trajetórias das partículas alfa e dos elétrons. É precisamente porque tão poucas maneiras de ver vão servir que aquelas que resistiram aos testes do uso do grupo são dignas de ser transmitidas de uma geração para outra. Do mesmo modo, é porque elas foram selecionadas pelo seu sucesso no transcorrer do tempo histórico que devemos falar da experiência e do conhecimento como incorporados no percurso que vai do estímulo à sensação.

Talvez ‘conhecimento’ seja a palavra errada, mas há razões para empregá-la. Aquilo que, constituído no processo neural, transforma estímulos em sensações tem as seguintes características: foi transmitido pela educação; por tentativa e erro foi considerado mais efetivo que seus competidores históricos no ambiente geral de um grupo; e, finalmente, sujeita-se a mudança tanto pela educação posterior quanto pela descoberta de inadequações em relação ao ambiente. Tais são as características do conhecimento que explicam por que eu uso o termo. Todavia, é um uso estranho, já que uma outra característica está ausente. Não temos nenhum acesso direto àquilo que está no nosso saber. Não temos quaisquer regras e generalizações com que expressar esse conhecimento. As regras que poderiam assegurar tal acesso deveriam referir-se aos estímulos, não às sensações. E podemos conhecer os estímulos apenas por meio de uma elaborada teoria. Na falta dessa teoria, o conhecimento corporificado na trajetória do estímulo à sensação permanece tácito.

Ainda que seja obviamente preliminar e requeira correção em todos os seus detalhes, o que acabou de ser dito sobre a sensação foi dito com a intenção da literalidade. No mínimo, trata-se de uma hipótese sobre a visão que deveria ser submetida a investigação experimental, ainda que provavelmente não por exame direto. Mas falar desse jeito do ver e da sensação também se põe a serviço de funções metafóricas de um modo que não é feito no corpo do livro. Não vemos elétrons, mas suas trajetórias – ou então borbulhas de vapor numa câmara de nuvens. Não vemos propriamente corrente elétrica, mas a agulha de um amperímetro ou galvanômetro. Ademais, nas páginas precedentes, particularmente na Seção X, agi repetidamente como se percebêssemos entidades teóricas como correntes, elétrons e campos; como se aprendêssemos a fazer isso por meio do exame de exemplares; e como se nesses casos também fosse errado substituir a fala do ver pela fala do critério e da interpretação. A metáfora que transfere ‘ver’ para contextos como esses dificilmente é uma base suficiente para tais alegações. No longo prazo ela precisará ser eliminada em favor de um modo mais literal de discurso.

O programa de computador acima referido começa a sugerir maneiras pelas quais isso pode ser feito, mas nem o espaço disponível nem a extensão da minha presente compreensão permitem que eu elimine a metáfora aqui.¹⁸⁰ Em vez disso, tentarei fortalecê-la com

180 Para os leitores de “Second Thoughts” as seguintes notas concisas podem ser orientadoras. A possibilidade do reconhecimento imediato dos membros das famílias naturais depende da existência, subjacente ao processo neural, de espaços perceptivos vazios entre as famílias a ser discriminadas. Se, por exemplo, houvesse um *continuum*

brevidade. Ver as gotículas de água ou uma agulha contraposta a uma escala numérica é uma experiência perceptiva rudimentar para a pessoa não familiarizada com câmaras de nuvens e amperímetros. Dessa forma, essa experiência perceptiva requer reflexão, análise e interpretação – ou até mesmo a intervenção de uma autoridade externa – antes que se possa chegar a conclusões sobre elétrons ou correntes. Mas é muito diferente a posição da pessoa que já aprendeu a respeito desses instrumentos e tem muita experiência exemplar com eles, havendo diferenças correspondentes no modo como ela processa os estímulos vindo deles e que a atingem. Reparando no vapor de sua respiração em uma fria tarde de inverno, sua sensação pode ser a mesma de um leigo. Mas ao olhar uma câmara de nuvens ela não vê – aqui literalmente – gotículas, mas trajetórias de elétrons, partículas alfa, e assim por diante. Tais trajetórias são, se você quiser, critérios que ela interpreta como índices da presença das partículas correspondentes. Mas o caminho que adota é mais curto e diferente do caminho adotado pela pessoa que interpreta as gotículas.

Ou então, consideremos o cientista que inspeciona um amperímetro para determinar o número sobre o qual a agulha parou. Sua sensação provavelmente é a mesma que a do leigo, particularmente se esse último já leu anteriormente outros tipos de medidores. Mas ele vê o medidor – de novo basicamente de modo literal – no contexto do circuito inteiro, além de saber algo sobre a sua estrutura interna. Para ele a posição da agulha é um critério, mas apenas um critério do valor da corrente. Para interpretá-lo ele precisa determinar apenas em que escala o medidor deve ser lido. Para o leigo, por outro lado, a posição da agulha de nada é critério, exceto de si mesma. Para interpretá-la, ele deve examinar toda a disposição dos fios internos e externos, experimentar as baterias e magnetos, e assim por diante. No uso metafórico de ‘ver’ – não menos que no uso literal –, a interpretação começa onde a percepção termina. Os dois processos não são a mesma coisa, e aquilo que a percepção deixa para a interpretação completar depende

perceptivo de aves aquáticas alinhando-se de cisnes a gansos, deveríamos ser obrigados a introduzir um critério específico para distingui-los. Uma observação similar pode ser feita para as entidades não observáveis. Se uma teoria física não admite a existência de qualquer outra coisa que se assemelhe a uma corrente elétrica, então um pequeno número de critérios – que podem variar consideravelmente de caso a caso – será suficiente para identificar correntes, ainda que não haja qualquer conjunto de regras que especifiquem as condições necessárias e suficientes para a identificação. Esse tópico sugere um corolário plausível que pode ser ainda mais importante. Dado um conjunto de condições necessárias e suficientes para a identificação de uma entidade teórica, tal entidade pode ser eliminada da ontologia de uma teoria por substituição. Na falta de tais regras, contudo, essas entidades não são elimináveis. A teoria continuará a demandar a sua existência.

radicalmente da natureza e da magnitude da experiência e do treinamento anteriores.

5. *Exemplares, Incomensurabilidade e Revoluções*

O que acabou de ser dito proporciona uma base para o esclarecimento de outro aspecto do meu livro: as considerações que faço sobre incomensurabilidade e suas consequências para cientistas que debatem, entre teorias, a escolha daquela que vai suceder a teoria atual.¹⁸¹ Nas Seções X e XIII eu argumentei que os partidos que se formam para esses debates veem diferentemente algumas das situações experimentais e observacionais a que ambos recorrem. Uma vez que os vocabulários com que eles discutem tais situações consistem, não obstante, dos mesmos termos, esses partidos devem estar afixando alguns desses termos à natureza de maneira diferente, tornando-se a comunicação entre eles inevitavelmente parcial. O resultado disso é que a superioridade de uma teoria sobre outra é algo que não pode ser provado no debate. Em vez disso, insisti, cada partido deve tentar converter o outro pela persuasão. Somente os filósofos equivocaram-se seriamente na interpretação do intento dessas partes do meu argumento. Vários deles, contudo, reportaram que eu acredito no seguinte:¹⁸² os proponentes de teorias incomensuráveis não se podem comunicar mutuamente de modo algum. Como resultado, em um debate para uma escolha de teoria não pode haver recurso a *boas razões*. Em vez disso, a teoria deve ser escolhida por razões que no fundo são pessoais e subjetivas. Algum tipo de apercepção mística seria responsável pela decisão efetivamente alcançada. Mais do que quaisquer outras partes do livro, as passagens em que se assentam essas interpretações equivocadas foram responsáveis por acusações de irracionalidade.

Consideremos de início minhas observações sobre a prova. Quero ressaltar algo simples e de há muito familiar na filosofia da ciência. Debates para a escolha de teoria não podem ser moldados em uma fôrma que se assemelhe integralmente a uma prova lógica ou matemática. Nessa última, premissas e regras de inferência são estipuladas desde o início. Se houver desacordo sobre as conclusões, as partes do debate que se segue podem retrair seus passos um a um, confrontando-os com o que foi previamente estipulado. No final desse processo, um ou outro deve admitir que cometeu um equívoco:

181 Os tópicos que se seguem são tratados com maior detalhamento nas Seções v e vi das “Reflections”.

182 Ver os trabalhos citados na nota 173, acima, e também o ensaio de Stephen Toulmin em *Growth of Knowledge*.

que violou uma regra previamente aceita. Depois dessa admissão ele não tem mais qualquer recurso, e a prova de seu oponente se torna conclusiva. Mas se, em vez disso, ambos descobrem que diferem no que respeita ao significado ou à aplicação das regras estipuladas – descobrem que seu acordo anterior não oferece base suficiente para a prova –, o debate prossegue na forma que ele inevitavelmente adquire durante as revoluções científicas. Tal debate é sobre premissas, e seu recurso é a persuasão como um prelúdio à possibilidade da prova.

Nada concernente a essa tese relativamente familiar implica que não haja boas razões para ser persuadido, e também que tais razões não sejam no fim das contas decisivas para o grupo. Não implica nem mesmo que as razões para a escolha sejam diferentes daquelas habitualmente listadas pelos filósofos da ciência: precisão, simplicidade, fecundidade e outras que tais. O que essa tese deveria sugerir, contudo, é que razões como essas funcionam como valores, podendo assim ser aplicadas de diferentes maneiras – individual e coletivamente – por pessoas que contribuem para reverenciá-las. Se duas pessoas discordam, por exemplo, a respeito da fecundidade de suas teorias – ou se elas concordam sobre isso, mas discordam sobre a importância relativa da fecundidade e, digamos, da possibilidade de se chegar a uma escolha –, nenhuma delas pode ser acusada de um equívoco. Não podem ser acusadas nem mesmo de estar sendo não científicas. Não há qualquer algoritmo neutro para escolha de teoria. Não há procedimento decisório sistemático algum que, se aplicado apropriadamente, deva levar cada indivíduo do grupo à mesma decisão. Nesse sentido, é mais a comunidade de especialistas, e menos o indivíduo, que formula a decisão efetiva. Para compreender por que a ciência se desenvolve como o faz, não é preciso desfiar os detalhes de biografia e personalidade que conduzem cada indivíduo a uma escolha particular, conquanto esse tópico seja particularmente fascinante. O que se deve entender, entretanto, é a maneira com que um conjunto de valores compartilhados interage com as experiências particulares compartilhadas por uma comunidade de especialistas para assegurar que a maioria dos membros do grupo vai achar, em última análise, um conjunto de argumentos mais decisivo que outro.

Tal processo é persuasão, mas apresenta um problema mais profundo. Duas pessoas que percebem a mesma situação diferentemente – mas que, apesar disso, empregam o mesmo vocabulário em seu debate – devem estar usando as palavras diferentemente. Isto é, elas falam a partir de pontos de vista que eu chamei de incomensuráveis. Elas sequer podem ter a esperança de se

entender, quanto menos de persuadir. Mesmo uma resposta provisória para tal questão demanda maior especificação da natureza da dificuldade. Suponho que, pelo menos em parte, tal resposta adquira a seguinte forma.

A prática da ciência normal depende da habilidade adquirida dos exemplares para agrupar objetos e situações em conjuntos de similaridade que são primitivos no sentido de que o agrupamento é feito sem uma resposta à questão “*Similar em relação a quê?*”. Um aspecto central de qualquer revolução é, desse modo, que algumas relações de similaridade mudam. Objetos que antes eram agrupados no mesmo conjunto, são agrupados em conjuntos diferentes depois da revolução, e vice-versa. Pensemos no Sol, na Lua, em Marte e na Terra antes e depois de Copérnico. Pensemos no movimento da queda livre, no movimento pendular e no movimento planetário antes e depois de Galileu. Ou pensemos nos sais, nas ligas e na limalha da mistura de enxofre e ferro depois de Dalton. Já que a maioria dos objetos continuam a ser agrupados juntos mesmo nos conjuntos alterados, os nomes dos conjuntos são habitualmente preservados. No entanto, a transferência de um subconjunto é ordinariamente parte de uma transformação crítica na rede de inter-relações entre os objetos. Transferir os metais do conjunto dos compostos para o conjunto dos elementos exerceu um papel essencial na emergência de uma nova teoria da combustão, da acidez e da combinação física e química. Rapidamente tais mudanças alastraram-se por toda a química. Portanto, não é de surpreender que, quando essas redistribuições ocorrem, duas pessoas cujos discursos tinham anteriormente fluído aparentemente com plena compreensão podem repentinamente encontrar-se respondendo aos mesmos estímulos com descrições e generalizações incompatíveis. Tais dificuldades não serão sentidas por igual em todas as áreas de seu discurso científico. Mas essas dificuldades vão emergir e se agrupar mais densamente em torno dos fenômenos de que depende mais centralmente a escolha da teoria.

Embora comecem por se evidenciar na comunicação, esses problemas não são meramente linguísticos e não podem ser resolvidos simplesmente pela estipulação das definições dos termos problemáticos. Uma vez que as palavras sobre as quais se aglomeram as dificuldades foram em parte aprendidas da aplicação direta a exemplares, os participantes de uma falha na comunicação não podem dizer “*Eu uso a palavra ‘elemento’ (ou ‘mistura’, ou ‘planeta’, ou ‘movimento livre’) de modos determinados pelos seguintes critérios*”. Isto é, eles não podem recorrer a uma linguagem neutra

que ambos vão usar da mesma maneira e que seja adequada à enunciação de suas duas teorias, ou que seja adequada às consequências empíricas de ambas as teorias. Parte da diferença é anterior à aplicação das linguagens em que as teorias, apesar disso, estão refletidas.

As pessoas que vivenciam tais fracassos da comunicação devem, contudo, ter algum recurso. Os estímulos que incidem sobre elas são os mesmos. Do mesmo modo, é o mesmo seu aparato neural geral, conquanto diferentemente programados. Ademais, exceto em uma pequena – ainda que crucial – área da experiência, até sua programação neural deve ser quase a mesma, já que elas compartilham uma história que excetua apenas o passado imediato. Como resultado, há compartilhamento do mundo cotidiano, há compartilhamento de quase todo o mundo científico e há compartilhamento de quase toda a linguagem. Com tanto em comum, elas deveriam ser capazes de descobrir boa parte daquilo em que diferem. As técnicas exigidas não são, todavia, quer diretas, quer agradáveis, quer parcela do arsenal normal do cientista. Os cientistas raramente reconhecem essas técnicas pelo que efetivamente são, e raramente as utilizam por mais tempo que o requerido para induzir à conversão ou para convencer-se de que a conversão não será conseguida.

Em poucas palavras, aquilo que os participantes de um colapso na comunicação podem fazer é reconhecer cada um como membro de diferentes comunidades de linguagem e, daí por diante, tornar-se tradutores.¹⁸³ Tomando as próprias diferenças entre seus discursos intragrupais e intergrupais como objeto de estudo, primeiro eles podem tentar descobrir os termos e locuções que são utilizados sem problemas dentro de cada comunidade mas que, não obstante, são focos de encrenca nas discussões intergrupais.¹⁸⁴ Quando conseguem isolar tais áreas de dificuldade na comunicação científica, eles podem recorrer aos vocabulários cotidianos que compartilham, num esforço de maior elucidação de seus embaraços. Isto é, cada um pode tentar descobrir aquilo que o outro veria e diria quando apresentado a um estímulo ao qual a sua própria resposta verbal seria diferente. Se eles

183 A já clássica fonte para a maior parte dos aspectos relevantes de uma tradução é W. V. Quine, *World and Object* (Cambridge, Mass., and New York, 1960), caps. i e ii. Mas Quine parece supor que dois homens que recebem o mesmo estímulo devam ter a mesma sensação e, portanto, tem pouco a dizer sobre a extensão em que o tradutor deve ser capaz de *descrever* o mundo a que está sendo aplicada a linguagem sendo traduzida. Para esse último ponto ver E. A. Nida, “Linguistics and Ethnology in Translation Problems”, in Del Hymes (ed.), *Language and Culture in Society* (New York, 1964), pp. 90-97.

184 Locuções que não apresentam tais dificuldades podem ser traduzidas pela mesma denotação.

puderem abster-se suficientemente de explicar o comportamento anômalo como consequência de mero erro ou loucura, podem, com o tempo, tornar-se bons prognosticadores do comportamento um do outro. Cada um terá aprendido a traduzir a teoria do outro – e suas consequências – na sua própria linguagem e, simultaneamente, descrever em sua linguagem o mundo a que aquela teoria se aplica. É isso que o historiador da ciência faz ou deveria regularmente fazer ao lidar com teorias científicas obsoletas.

Já que a tradução, uma vez exercida, permite aos participantes de um colapso de comunicação vivenciar vicariamente algo dos méritos e defeitos dos pontos de vista uns dos outros, torna-se uma poderosa ferramenta para a persuasão e também para a conversão. Mas mesmo a persuasão não precisa ter sucesso e, se ela tiver sucesso, não precisa ser acompanhada ou seguida de conversão. As duas experiências não são as mesmas. Essa é uma importante distinção que só há pouco tempo reconheci plenamente.

Considero que persuadir alguém é convencê-lo de que minha própria concepção é superior e que, portanto, deveria tomar o lugar da concepção dele. Às vezes se consegue isso sem recurso a algo que se assemelhe a uma tradução. Quando isso não ocorre, várias das explanações e enunciados de problemas endossados pelos membros de um grupo científico serão opacos para os membros de outro grupo. No entanto, cada comunidade de linguagem pode ordinariamente produzir desde o início uns poucos resultados concretos de pesquisa que, embora descritíveis em sentenças compreendidas do mesmo modo por ambos os grupos, ainda não podem ser narrados pela outra comunidade em seus próprios termos. Se o novo ponto de vista perdura por algum tempo e continua a ser frutífero, os resultados de pesquisa verbalizáveis desse modo provavelmente crescerão em número. Para algumas pessoas não mais que tais resultados já serão decisivos. Elas podem dizer: *“Eu não sei como os proponentes da nova concepção obtêm sucesso, mas devo aprender. O que quer que estejam fazendo, é nitidamente correto”*. Essa reação chega de modo particularmente fácil para as pessoas que estão entrando agora na profissão, já que elas ainda não adquiriram os vocabulários especializados e os comprometimentos de qualquer um dos grupos.

Argumentos enunciáveis no vocabulário que os dois grupos usam do mesmo modo, contudo, geralmente não são decisivos. Não são decisivos pelo menos até um estágio muito avançado na evolução das concepções opostas. Entre aqueles já integrados à profissão, poucos serão persuadidos sem algum recurso às comparações mais extensas que a tradução permite. Mesmo que o preço sejam com

frequência sentenças de grande extensão e complexidade,¹⁸⁵ muitos resultados adicionais de pesquisa podem ser *traduzidos* de uma comunidade de linguagem para outra. Na medida em que a tradução se processa, ademais, alguns membros de cada uma das comunidades também podem começar a compreender vicariamente como um enunciado anteriormente opaco poderia assemelhar-se a um esclarecimento para os membros do grupo oposto. É claro que a disponibilidade de técnicas como essas não garante a persuasão. Para a maioria das pessoas a tradução é um processo ameaçador, além de ser completamente alheio à ciência normal.

De qualquer modo, contra-argumentos estão sempre disponíveis e não há regras que prescrevam como um equilíbrio possa ser atingido. Não obstante, como os argumentos empilham-se uns sobre os outros e desafio após desafio são vencidos com sucesso, só a mais cega teimosia pode, no final das contas, responder pela continuidade da resistência.

Sendo esse o caso, um segundo aspecto da tradução – há muito familiar aos historiadores e linguistas – torna-se crucialmente importante. Traduzir uma teoria ou visão de mundo para a sua própria linguagem não é fazer sua a linguagem traduzida. Para que isso ocorra é preciso que alguém se torne um nativo. Isto é, descobrir que esse alguém está pensando e agindo na – e não simplesmente fazendo a tradução da – língua que lhe era estrangeira. Todavia, essa transição não é algo que um indivíduo possa fazer por deliberação ou escolha, conquanto boas sejam suas razões para desejar fazer isso. Em vez disso, em algum ponto do processo em que aprende a traduzir, ele se dá conta de que a transição ocorreu e que ele deslisou para dentro da nova linguagem sem que uma decisão tenha sido tomada. Ou então – do mesmo modo que muitos daqueles que se depararam pela primeira vez com, digamos, a relatividade ou com a mecânica quântica na meia idade –, ele se encontra totalmente persuadido pela nova concepção mas, apesar disso, é incapaz de internalizá-la e sentir-se em casa no mundo que a nova concepção ajuda a moldar. Intelectualmente tal pessoa fez sua escolha, mas a conversão requerida para que essa escolha se efetive esquivase dela. Contudo, ela pode usar a nova teoria. Mas fará isso como um estrangeiro em um ambiente que lhe é estranho – uma alternativa disponível apenas porque já há nativos ali. Seu trabalho será parasitário do trabalho dos nativos, já que lhe falta a constelação de

185 Penso na controvérsia Proust-Berthollet inteiramente conduzida sem que se recorresse ao termo ‘elemento’.

disposições mentais que os futuros membros da comunidade adquirirão pela educação.

A experiência de conversão que comparei a uma mutação imagética [*Gestalt switch*] se mantém, portanto, no coração do processo revolucionário. Boas razões para uma escolha fornecem motivos para a conversão e o clima em que ela mais provavelmente ocorrerá. Em acréscimo, a tradução pode proporcionar os pontos de acesso para a reprogramação neural que, embora inescrutável no momento, deve subjazer à conversão. Mas nem boas razões nem a tradução constituem a conversão, e é esse processo que devemos explicar para compreender um tipo essencial de mudança científica.

6. *Revoluções e Relativismo*

Em particular uma consequência da posição que acabamos de delinear incomodou um certo número de meus críticos.¹⁸⁶ Eles acham meu ponto de vista relativista, especialmente como está desenvolvido na última seção desse livro. Minhas considerações sobre tradução põem em destaque as razões para a acusação. Afirmo que os proponentes de diferentes teorias são como membros de diferentes comunidades linguístico-culturais. Reconhecer esse paralelismo sugere que em algum sentido ambos os grupos podem estar certos. Quando aplicada à cultura e seu desenvolvimento essa posição é relativista.

Mas, se aplicada à ciência pode não ser. Em todo caso, essa posição está longe de um *mero* relativismo em um aspecto que seus críticos não conseguiram ver. Tomados como um grupo – ou em grupos – os profissionais das ciências desenvolvidas são, tenho argumentado, fundamentalmente resolvedores de charadas. Embora os valores de que por vezes dispõem em momentos de escolha de teoria também derivem de outros aspectos de seu trabalho, a habilidade demonstrada para formular e resolver charadas apresentadas pela natureza é, no caso de um conflito de valores, o critério dominante para a maior parte dos membros de um grupo científico. Do mesmo modo que qualquer outro valor, a habilidade para resolver charadas mostra-se equívoca em sua aplicação. Apesar de a compartilharem, duas pessoas podem diferir nos ajuizamentos que extraem de seu uso. Mas o comportamento de uma comunidade que torna proeminente a habilidade de resolver charadas será muito diferente do comportamento de uma comunidade que não valoriza

186 Shapere, “Structure of Scientific Revolutions” e Popper em *Growth of Knowledge*.

essa habilidade. Nas ciências, acredito, o elevado valor atribuído à habilidade de resolver charadas tem as seguintes consequências.

Imaginemos uma árvore evolucionária que representasse o desenvolvimento das modernas especialidades científicas a partir de suas origens comuns, digamos, na filosofia natural primitiva e nos ofícios. Uma linha riscada de baixo para cima – nunca se dobrando para trás –, do tronco até a ponta de algum galho, traçaria uma sucessão de teorias relacionadas por descendência. Considerando quaisquer duas teorias escolhidas em pontos não muito próximos de suas origens, deveria ser fácil elaborar uma lista de critérios que capacitassem um observador descomprometido a distinguir repetidas vezes a teoria anterior da teoria mais recente. Entre os critérios mais úteis estariam: precisão da predição – particularmente da predição quantitativa –, a proporção entre objetos especializados e objetos de utilidade pública, e o número de diferentes problemas resolvidos. Menos úteis para esse propósito – embora também sejam importantes determinantes da vida científica – seriam valores como simplicidade, alcance e compatibilidade com outras especialidades. Tais listas não são ainda as que se exige, mas não tenho dúvidas de que elas podem ser completadas. E se elas podem ser completadas, então o desenvolvimento científico, como o biológico, é um processo unidirecional e irreversível. As teorias científicas mais recentes são melhores que suas antecessoras para a resolução de charadas, nos ambientes em geral muito diferentes a que são aplicadas. Essa não é uma posição relativista e mostra o sentido em que convictamente acredito no progresso científico.

Entretanto, essa posição é carente de um elemento essencial quando a comparamos com a noção de progresso que mais prevalece entre os filósofos da ciência e entre os leigos. Uma teoria científica é usualmente reconhecida como melhor que suas predecessoras não apenas no sentido de que ela é um instrumento melhor para descobrir e resolver charadas, mas também porque ela é, de algum modo, uma representação melhor daquilo que a natureza realmente é. Ouve-se com frequência que sucessivas teorias desenvolvem-se no sentido de uma proximidade cada vez maior – ou se aproximam cada vez mais conclusivamente – da verdade. Aparentemente, generalizações como essa referem-se não às soluções de charadas e às predições concretas derivadas de uma teoria, mas à sua ontologia. Isto é, ao ajuste entre as entidades com que a teoria povoa a natureza e aquilo que está *‘realmente aí’*.

Talvez haja alguma outra maneira de salvar a noção de ‘verdade’ para aplicação a teorias em seu todo, mas essa não vai

servir. Penso que não haja qualquer via teórico-independente para reconstruir frases como ‘*realmente a?*’. A noção de um ajuste entre a ontologia de uma teoria e sua contraparte ‘real’ na natureza agora me parece falaciosa em princípio. Ademais, como historiador, fico impressionado com a implausibilidade dessa visão. Não duvido de que a mecânica de Newton, por exemplo, se avanteja sobre a mecânica de Aristóteles, e de que a mecânica de Einstein se avanteja sobre a de Newton como instrumentos de resolução de charadas. Mas não posso ver qualquer direção coerente de desenvolvimento ontológico nessa sucessão. Pelo contrário, em alguns importantes aspectos – embora de modo algum em todos – a teoria geral da relatividade de Einstein está mais próxima da teoria aristotélica que qualquer uma dessas duas está da teoria de Newton. Embora a tentação de descrever tal posição como relativista seja compreensível, a descrição me parece errônea. Inversamente, a ser relativismo essa posição, não consigo ver que o relativista perca alguma coisa necessária para explicar a natureza e o desenvolvimento da ciência.

7. A Natureza da Ciência

Concluo com uma breve discussão de duas reações recorrentes ao meu texto original. A primeira delas, crítica. A segunda, favorável. Mas nenhuma das duas muito correta. Embora nenhuma das duas se relacione com o que foi dito até agora – nem uma se relaciona com a outra –, ambas foram suficientemente frequentes para requererem pelo menos alguma resposta.

Uns poucos leitores do meu texto original notaram que me movo alternadamente entre modos descritivos e normativos, num trânsito particularmente destacado em passagens ocasionais que se abrem com “*Mas isso não é o que os cientistas fazem*”, e se encerram com a alegação de que os cientistas não deveriam fazer assim. Alguns críticos consideram que estou confundindo descrição com prescrição, violando assim o teorema filosófico sancionado pelo tempo ‘*É*’ não pode implicar ‘*deve*’.¹⁸⁷

Na prática esse teorema já virou um chavão e não é mais reverenciado por toda parte. Vários filósofos contemporâneos descobriram importantes contextos em que o normativo e o descritivo estão inextricavelmente mesclados.¹⁸⁸ ‘*É*’ e ‘*deve*’ de modo algum estão sempre separados como pareceram. Mas não é necessário

¹⁸⁷ Para um dos muitos exemplos, ver o ensaio de P. K. Feyerabend em *Growth of Knowledge*.

¹⁸⁸ Stanley Cavell, *Must We Mean What We Say?* (New York, 1969), cap. i.

nenhum recurso às sutilezas da filosofia linguística contemporânea para desemaranhar o que pareceu confuso em relação a esse aspecto de minha posição. As páginas precedentes apresentam um ponto de vista ou teoria sobre a natureza da ciência e, como outras filosofias da ciência, a teoria tem consequências para o modo como os cientistas deveriam comportar-se para que seu empreendimento tenha sucesso. Ainda que não precise estar correta – não mais que qualquer outra teoria –, ela proporciona uma base legítima para repetidos ‘deves’ e ‘deverias’. Inversamente, um conjunto de razões para levar a sério a teoria é que os cientistas, cujos métodos foram desenvolvidos e selecionados pelo seu sucesso, comportam-se de fato como a teoria diz que eles deveriam. Minhas generalizações descritivas são evidência para a teoria precisamente porque também podem ser derivadas dela, enquanto que em outras concepções da natureza da ciência elas constituem um comportamento anômalo.

Penso que a circularidade de tal argumento não é viciosa. As consequências do ponto de vista sendo discutido não são esgotadas pelas observações sobre as quais ele se baseou no início. Mesmo antes que esse livro fosse publicado pela primeira vez, eu já achava que partes da teoria que ele apresenta fossem uma ferramenta útil para a exploração do desenvolvimento e do comportamento científicos. Uma comparação do presente posfácio com as páginas do texto original pode sugerir que ela continuou a exercer esse papel. Nenhum ponto de vista meramente circular pode proporcionar tal orientação.

Para uma última reação a esse livro, minha resposta deve ser de um tipo diferente. Um certo número daqueles que tiveram prazer em lê-lo vivenciaram isso menos porque ele ilumina a ciência e mais porque leram suas principais teses como se elas também fossem aplicáveis a muitos outros campos. Compreendo o que eles querem dizer e não gostaria de desencorajá-los em suas tentativas de alargar o posicionamento. Todavia, sua reação me deixou perplexo. Na medida em que o livro retrata o desenvolvimento científico como uma sucessão de períodos compelidos pela tradição pontuada por rupturas não cumulativas, suas teses são indubitavelmente de aplicação ampla. Mas é assim mesmo que elas deveriam ser, já que foram emprestadas de outros campos. Historiadores da literatura, da música, das artes, do desenvolvimento político e de muitas outras atividades humanas de há muito descrevem seus objetos da mesma maneira. A periodização em termos de rupturas revolucionárias no estilo, no gosto e na estrutura institucional tem estado entre suas ferramentas padrão. Se fui original com respeito a conceitos como esses, foi principalmente porque os apliquei às ciências, campos que foram

largamente pensados como se se desenvolvessem de um modo diferente. É concebível que a noção de paradigma como um trabalho concreto – um exemplar – seja uma segunda contribuição. Suspeito, por exemplo, que algumas das dificuldades notórias que cercam a noção de estilo nas artes podem desvanecer-se se as pinturas pudessem ser vistas como modelando-se umas nas outras, em vez de serem produzidas em conformidade com algum cânone de estilo.¹⁸⁹

Esse livro, entretanto, foi projetado para tratar de um outro tipo de questão. Um ponto que foi bem menos visível para muitos de seus leitores. Embora o desenvolvimento científico possa parecer-se com o desenvolvimento em outros campos muito mais do que geralmente se supôs, ele é também surpreendentemente diferente. Dizer, por exemplo, que as ciências progridem, pelo menos depois de um certo ponto em seu desenvolvimento, de um modo não encontrado em outros campos não foi de todo errado – o que quer que o próprio progresso possa ser. Um dos objetivos do livro foi examinar tais diferenças e começar a explicá-las.

Consideremos, por exemplo, a reiterada ênfase, acima, na ausência ou – como eu deveria dizer agora – na relativa escassez de escolas competidoras nas ciências desenvolvidas. Ou então recordemos minhas considerações sobre a extensão com que os membros de uma dada comunidade científica constituem a única audiência e os únicos juízes do trabalho daquela comunidade. Ou pensemos de novo na natureza específica da educação científica, sobre a resolução de charadas como um objetivo, e sobre o sistema de valores que o grupo científico aciona em períodos de crise e decisão. O livro individualiza outras características do mesmo tipo, nenhuma delas necessariamente exclusiva da ciência. Todavia, no conjunto essas características mantêm a ciência em seu nicho particular.

Ainda há muito mais a se aprender sobre esses traços da ciência. Abri esse posfácio enfatizando a estrutura comunitária da ciência. Devo encerrá-lo sublinhando a necessidade de um estudo similar e, acima de tudo, comparativo das comunidades correspondentes em outros campos. Como alguém elege e como alguém é eleito para a participação em uma comunidade em particular? Qual é o processo e quais são os estágios de socialização para integrar o grupo? O que o grupo coletivamente vê como seus objetivos? Que desvios individuais ou coletivos vai tolerar? Como ele controla a aberração não permissível? Uma compreensão mais completa da ciência também vai depender de respostas a outros tipos

189 Para esse ponto, assim como para uma discussão mais extensa daquilo que há de especial nas ciências, ver T. S. Kuhn, “Comment [on the Relations of Science and Art]”, *Comparative Studies in Philosophy and History*, XI (1969), 403-12.

de questões, mas não há nenhuma área em que muito mais trabalho é tão intensamente requerido. O conhecimento científico, como a linguagem, é intrinsecamente a propriedade comum de um grupo, ou então nada é. Para compreendê-lo precisaremos conhecer as características dos grupos que o criam e usam.

Conteúdos

Prefácio	1
I. Introdução: Um Papel para a História	9
II. O Caminho para a Ciência Normal	18
III. A Natureza da Ciência Normal	30
IV. A Ciência Normal como Resolução de Charadas	41
V. A Prioridade dos Paradigmas	49
VI. A Anomalia e a Emergência das Descobertas Científicas	57
VII. Crise e Emergência de Teorias Científicas	70
VIII. A Resposta à Crise	80
IX. A Natureza e a Necessidade das Revoluções Científicas	94
X. As Revoluções como Mudanças de Visão de Mundo	112
XI. A Invisibilidade das Revoluções	135
XII. Como as Revoluções se Resolvem	143
XIII. Progresso Através de Revoluções	158
Posfácio de 1969	172
<i>1. Paradigmas e Estrutura Comunitária</i>	173
<i>2. Paradigmas como a Constelação dos Comprometimentos do Grupo</i>	179
<i>3. Paradigmas como Exemplos Compartilhados</i>	185
<i>4. Conhecimento Tácito e Intuição</i>	188
<i>5. Exemplares, Incomensurabilidade e Revoluções</i>	195
<i>6. Revoluções e Relativismo</i>	201
<i>7. A Natureza da Ciência</i>	203

