

20
KUNN, Thomas Samuel. A estrutura das revoluções científicas. 3ª ed. São Paulo: Perspectiva, 1992.

teses sugeridas acima são freqüentemente interpretativas e, algumas vezes, normativas. Além disso, muitas de minhas generalizações dizem respeito à sociologia ou à psicologia social dos cientistas. Ainda assim, pelo menos algumas das minhas conclusões pertencem tradicionalmente à Lógica ou à Epistemologia. Pode até mesmo parecer que, no parágrafo anterior, eu tenha violado a muito influente distinção contemporânea entre o "contexto da descoberta" e o "contexto da justificação". Pode algo mais do que profunda confusão estar indicado nesta mescla de diversas áreas e interesses?

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

TEXTO
7

1. A ROTA PARA A CIÊNCIA NORMAL

Neste ensaio, "ciência normal" significa a pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas. Essas realizações são reconhecidas durante algum tempo por alguma comunidade científica específica como proporcionando os fundamentos para sua prática posterior. Embora raramente na sua forma original, hoje em dia essas realizações são relatadas pelos manuais científicos elementares e avançados. Tais livros expõem o corpo da teoria aceita, ilustram muitas (ou todas) as suas aplicações bem sucedidas e comparam essas aplicações com observações e experiências exemplares. Uma vez que tais livros se tornaram populares no começo do século XIX (e mes-

mo mais recentemente, como no caso das ciências amadurecidas há pouco), muitos dos clássicos famosos da ciência desempenham uma função similar. A *Física* de Aristóteles, o *Almagesto* de Ptolomeu, os *Principia* e a *Óptica* de Newton, a *Eletricidade* de Franklin, a *Química* de Lavoisier e a *Geologia* de Lyell — esses e muitos outros trabalhos serviram, por algum tempo, para definir implicitamente os problemas e métodos legítimos de um campo de pesquisa para as gerações posteriores de praticantes da ciência. Puderam fazer isso porque partilhavam duas características essenciais. Suas realizações foram suficientemente sem precedentes para atrair um grupo duradouro de partidários, afastando-os de outras formas de atividade científica dissimilares. Simultaneamente, suas realizações eram suficientemente abertas para deixar toda a espécie de problemas para serem resolvidos pelo grupo redefinido de praticantes da ciência.

Daqui por diante deverei referir-me às realizações que partilham essas duas características como “paradigmas”, um termo estreitamente relacionado com “ciência normal”. Com a escolha do termo pretendo sugerir que alguns exemplos aceitos na prática científica real — exemplos que incluem, ao mesmo tempo, lei, teoria, aplicação e instrumentação — proporcionam modelos dos quais brotam as tradições coerentes e específicas da pesquisa científica. São essas tradições que o historiador descreve com rubricas como: “Astronomia Ptolomaica” (ou “Copernicana”), “Dinâmica Aristotélica” (ou “Newtoniana”), “Óptica Corpuscular” (ou “Óptica Ondulatória”), e assim por diante. O estudo dos paradigmas, muitos dos quais bem mais especializados do que os indicados acima, é o que prepara basicamente o estudante para ser membro da comunidade científica determinada na qual atuará mais tarde. Uma vez que ali o estudante reúne-se a homens que aprenderam as bases de seu campo de estudo a partir dos mesmos modelos concretos, sua prática subsequente raramente irá provocar desacordo declarado sobre pontos fundamentais. Homens cuja pesquisa está baseada em paradigmas compartilhados estão comprometidos com as mesmas regras e padrões para a prática científica. Esse comprometimento e o consenso aparente que produz são pré-requisitos para a ciência

normal, isto é, para a gênese e a continuação de uma tradição de pesquisa determinada.

Será necessário acrescentar mais sobre as razões da introdução do conceito de paradigma, uma vez que neste ensaio ele substituirá uma variedade de noções familiares. Por que a realização científica, como um lugar de comprometimento profissional, é anterior aos vários conceitos, leis, teorias e pontos de vista que dela podem ser abstraídos? Em que sentido o paradigma partilhado é uma unidade fundamental para o estudo do desenvolvimento científico, uma unidade que não pode ser totalmente reduzida a componentes atômicos lógicos que poderiam funcionar em seu lugar? Quando as encontrarmos, no Cap. 4, as respostas a estas questões e outras similares demonstrarão ser básicas para a compreensão, tanto da ciência normal, como do conceito associado de paradigma. Contudo, esta discussão mais abstrata vai depender da exposição prévia de exemplos da ciência normal ou de paradigmas em atividade. Mais especificamente, esses dois conceitos relacionados serão esclarecidos indicando-se a possibilidade de uma espécie de pesquisa científica sem paradigmas ou pelo menos sem aqueles de tipo tão inequívoco e obrigatório como os nomeados acima. A aquisição de um paradigma e do tipo de pesquisa mais esotérico que ele permite é um sinal de maturidade no desenvolvimento de qualquer campo científico que se queira considerar.

Se o historiador segue, desde a origem, a pista do conhecimento científico de qualquer grupo selecionado de fenômenos interligados, provavelmente encontrará alguma variante menor de um padrão ilustrado aqui a partir da História da Óptica Física. Os manuais atuais de Física ensinam ao estudante que a luz é composta de fótons, isto é, entidades quântico-mecânicas que exibem algumas características de ondas e outras de partículas. A pesquisa é realizada de acordo com este ensinamento, ou melhor, de acordo com as caracterizações matemáticas mais elaboradas a partir das quais é derivada esta verbalização usual. Contudo, esta caracterização da luz mal tem meio século. Antes de ter sido desenvolvida por Planck, Einstein e outros no começo deste século, os textos de Física ensinavam que a luz era um movimento ondulatório transversal, con-

cepção que em última análise derivava dos escritos ópticos de Young e Fresnel, publicados no início do século XIX. Além disso, a teoria ondulatória não foi a primeira das concepções a ser aceita pelos praticantes da ciência óptica. Durante o século XVIII, o paradigma para este campo de estudos foi proporcionado pela *Óptica* de Newton, a qual ensinava que a luz era composta de corpúsculos de matéria. Naquela época os físicos procuravam provas da pressão exercida pelas partículas de luz ao colidir com os corpos sólidos, algo que não foi feito pelos primeiros teóricos da concepção ondulatória.¹

Essas transformações de paradigmas da Óptica Física são revoluções científicas e a transição sucessiva de um paradigma a outro, por meio de uma revolução, é o padrão usual de desenvolvimento da ciência amadurecida. No entanto, este não é o padrão usual do período anterior aos trabalhos de Newton. É este contraste que nos interessa aqui. Nenhum período entre a antiguidade remota e o fim do século XVII exibiu uma única concepção da natureza da luz que fosse geralmente aceita. Em vez disso havia um bom número de escolas e subescolas em competição, a maioria das quais esposava uma ou outra variante das teorias de Epicuro, Aristóteles ou Platão. Um grupo considerava a luz como sendo composta de partículas que emanavam dos corpos materiais; para outro, era a modificação do meio que intervinha entre o corpo e o olho; um outro ainda explicava a luz em termos de uma interação do meio com uma emanção do olho; e haviam outras combinações e modificações além dessas. Cada uma das escolas retirava forças de sua relação com alguma metafísica determinada. Cada uma delas enfatizava, como observações paradigmáticas, o conjunto particular de fenômenos ópticos que sua própria teoria podia explicar melhor. Outras observações eram examinadas através de elaboração *ad hoc* ou permaneciam como problemas especiais para a pesquisa posterior.²

Em épocas diferentes, todas estas escolas fizeram contribuições significativas ao corpo de conceitos, fe-

1. PRIESTLEY, Joseph. *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision Light and Colours*. (Londres, 1772) pp. 385-90.

2. RONCH, Vasco. *Histoire de la lumière*. (Paris, 1956), Caps. I - IV, tradução de Jean Taton.

nômenos e técnicas dos quais Newton extraiu o primeiro paradigma quase uniformemente aceito na Óptica Física. Qualquer definição do cientista, que excluía os membros mais criadores dessas várias escolas, excluía igualmente seus sucessores modernos. Esses homens eram cientistas. Contudo, qualquer um que examine uma amostra da Óptica Física anterior a Newton poderá perfeitamente concluir que, embora os estudiosos dessa área fossem cientistas, o resultado líquido de suas atividades foi algo menos que ciência. Por não ser obrigado a assumir um corpo qualquer de crenças comuns, cada autor de Óptica Física sentia-se forçado a construir novamente seu campo de estudos desde os fundamentos. A escolha das observações e experiências que sustentavam tal reconstrução era relativamente livre. Não havia qualquer conjunto-padrão de métodos ou de fenômenos que todos os estudiosos da Óptica se sentissem forçados a empregar e explicar. Nestas circunstâncias o diálogo dos livros resultantes era freqüentemente dirigido aos membros das outras escolas tanto como à natureza. Hoje em dia esse padrão é familiar a numerosos campos de estudos criadores e não é incompatível com invenções e descobertas significativas. Contudo, este não é o padrão de desenvolvimento que a Óptica Física adquiriu depois de Newton e nem aquele que outras ciências da natureza tornaram familiar hoje em dia.

A história da pesquisa elétrica na primeira metade do século XVIII proporciona um exemplo mais concreto e melhor conhecido da maneira como uma ciência se desenvolve antes de adquirir seu primeiro paradigma universalmente aceito. Durante aquele período houve quase tantas concepções sobre a natureza da eletricidade como experimentadores importantes nesse campo, homens como Hauksbee, Gray, Desaguliers, Du Fay, Nollet, Watson, Franklin e outros. Todos seus numerosos conceitos de eletricidade tinham algo em comum — eram parcialmente derivados de uma ou outra versão da filosofia mecânico-corpúscular que orientava a pesquisa científica da época. Além disso, eram todos componentes de teorias científicas reais, teorias que tinham sido parcialmente extraídas de experiências e observações e que determinaram em parte a escolha e a interpretação de problemas adicionais

enfrentados pela pesquisa. Entretanto, embora todas as experiências fossem elétricas e a maioria dos experimentadores lessem os trabalhos uns dos outros, suas teorias não tinham mais do que uma semelhança de família.³

Um primeiro grupo de teorias, seguindo a prática do século XVII, considerava a atração e a geração por fricção como os fenômenos elétricos fundamentais. Esse grupo tendia a tratar a repulsão como um efeito secundário devido a alguma espécie de rebote mecânico. Tendia igualmente a postergar por tanto tempo quanto possível tanto a discussão como a pesquisa sistemática sobre o novo efeito descoberto por Gray — a condução elétrica. Outros “eletricistas” (o termo é deles mesmo) consideravam a atração e a repulsão como manifestações igualmente elementares da eletricidade e modificaram suas teorias e pesquisas de acordo com tal concepção. (Na realidade este grupo é extremamente pequeno — mesmo a teoria de Franklin nunca explicou completamente a repulsão mútua de dois corpos carregados negativamente.) Mas estes tiveram tanta dificuldade como o primeiro grupo para explicar simultaneamente qualquer coisa que não fosse os efeitos mais simples da condução. Contudo, esses efeitos proporcionaram um ponto de partida para um terceiro grupo, grupo que tendia a falar da eletricidade mais como um “fluido” que podia circular através de condutores do que como um “eflúvio” que emanasse de não-condutores. Por seu turno, esse grupo tinha dificuldade para reconciliar sua teoria com numerosos efeitos de atração e repulsão. Somente através dos trabalhos de Franklin e de seus sucessores imediatos surgiu uma teoria capaz de dar conta, com quase igual facilidade, de aproximadamente todos esses efeitos. Em

3 DUANE ROLLER & 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* (Filadélfia, 1956), Caps. VII - XII. Estou em dívida com um trabalho ainda não publicado de meu aluno John L. Heilbron no que diz respeito a alguns detalhes analíticos do parágrafo seguinte. Enquanto se aguarda sua publicação, pode-se encontrar uma apresentação de certo modo mais extensa e mais precisa do surgimento do paradigma de Franklin em “The Function of Dogma in Scientific Research” de THOMAS S. KUHN, publicado em A. C. Crombie (ed.), *Symposium on the History of Science*, University of Oxford, jul. 9-15, 1961, que será publicado por Heinemann Educational Books, Ltd.

vista disso essa teoria podia e de fato realmente proporcionou um paradigma comum para a pesquisa de uma geração subsequente de “eletricistas”.

Excluindo áreas como a Matemática e a Astronomia, nas quais os primeiros paradigmas estáveis datam da pré-história, e também aquelas, como a Bioquímica, que surgiu da divisão e combinação de especialidades já amadurecidas, as situações esboçadas acima são historicamente típicas. Sugiro que desacordos fundamentais de tipo similar caracterizaram, por exemplo, o estudo do movimento antes de Aristóteles e da Estática antes de Arquimedes, o estudo do calor antes de Black, da Química antes de Boyle e Boerhaave e da Geologia Histórica antes de Hutton — embora isso envolva de minha parte o emprego continuado de simplificações infelizes que rotulam um extenso episódio histórico com um único nome, um tanto arbitrariamente escolhido (por exemplo, Newton ou Franklin). Em partes da Biologia — por exemplo, no estudo da hereditariedade — os primeiros paradigmas universalmente aceitos são ainda mais recentes. Permanece em aberto a questão a respeito de que áreas da ciência social já adquiriram tais paradigmas. A História sugere que a estrada para um consenso estável na pesquisa é extraordinariamente árdua.

Contudo, a História sugere igualmente algumas razões para as dificuldades encontradas ao longo desse caminho. Na ausência de um paradigma ou de algum candidato a paradigma, todos os fatos que possivelmente são pertinentes ao desenvolvimento de determinada ciência têm a probabilidade de parecerem igualmente relevantes. Como consequência disso, as primeiras coletas de fatos se aproximam muito mais de uma atividade ao acaso do que daquelas que o desenvolvimento subsequente da ciência torna familiar. Além disso, na ausência de uma razão para procurar alguma forma de informação mais recôndita, a coleta inicial de fatos é usualmente restrita à riqueza de dados que estão prontamente a nossa disposição. A soma de fatos resultantes contém aqueles acessíveis à observação e à experimentação casuais, mais alguns dos dados mais esotéricos procedentes de ofícios estabelecidos, como a Medicina, a Metalurgia e a confecção de calendários. A tecnologia desempenhou muitas vezes um papel vi-

tal no surgimento de novas ciências, já que os ofícios são uma fonte facilmente acessível de fatos que não poderiam ter sido descobertos casualmente. Embora esta espécie de coleta de fatos tenha sido essencial para a origem de muitas ciências significativas, qualquer pessoa que examinar, por exemplo, os escritos enciclopédicos de Plínio ou as Histórias Naturais de Bacon, descobrirá que ela produz uma situação de perplexidade. De certo modo hesita-se em chamar de científica a literatura resultante. As "histórias" baconianas do calor, da cor, do vento, da mineração e assim por diante, estão repletas de informações, algumas das quais recônditas. Mas justapõem fatos, que mais tarde demonstrarão ser reveladores (por exemplo, o aquecimento por mistura), com outros (o calor dos montes de esterco) que continuarão demasiado complexos para serem integrados na teoria.⁴ Além disso, visto que qualquer descrição tem que ser parcial, a História Natural típica omite com frequência de seus relatos imensamente circunstanciais exatamente aqueles detalhes que cientistas posteriores considerarão fontes de iluminações importantes. Por exemplo, quase nenhuma das primeiras "histórias" da eletricidade mencionam que o farelo, atraído por um bastão de vidro coberto de borraça, é repellido novamente. Esse efeito parecia mecânico e não elétrico.⁵ Além do mais, visto que o coletor de dados casual raramente possui o tempo ou os instrumentos para ser crítico, as histórias naturais justapõem frequentemente descrições como as mencionadas acima como outras de, digamos, aquecimento por antiperístase (ou por esfriamento), que hoje em dia não temos condição alguma de confirmar.⁶ Apenas muito ocasionalmente, como no caso da Estática, Dinâmica e Óptica Geométrica antigas, fatos coletados com tão pouca orientação por parte de teorias preestabele-

4. Compare-se o esboço de uma história natural do calor no *Novum Organum* de BACON, v. VIII de *The Works of Francis Bacon*, ed. J. Spedding, R. L. Ellis e D. D. Heath (Nova York, 1869), pp 179-203).

5. ROLLER & ROLLER, *op. cit.*, pp. 14, 22, 28 e 43. Somente depois do aparecimento do trabalho mencionado na última dessas citações é que os efeitos repulsivos foram reconhecidos como inequivocamente elétricos.

6. BACON, *op. cit.*, pp. 235, 337, diz: "A água ligeiramente morna gela mais rapidamente do que a totalmente fria". Para uma apresentação parcial da história inicial dessa estranha observação, ver MARSHALL CLAGETT, *Giovanni Marliani and Late Medieval Physics* (Nova York, 1941), Cap. IV.

cidas falam com suficiente clareza para permitir o surgimento de um primeiro paradigma.

As escolas características dos primeiros estágios do desenvolvimento de uma ciência criam essa situação. Nenhuma História Natural pode ser interpretada na ausência de pelo menos algum corpo implícito de crenças metodológicas e teóricas interligadas que permita a seleção, avaliação e a crítica. Se esse corpo de crenças já não está implícito na coleção de fatos — quando então temos à disposição mais do que "meros fatos" — precisa ser suprido externamente, talvez por uma metafísica em voga, por outra ciência ou por um acidente pessoal e histórico. Não é de admirar que nos primeiros estágios do desenvolvimento de qualquer ciência, homens diferentes confrontados com a mesma gama de fenômenos — mas em geral não com os mesmos fenômenos particulares — os descrevam e interpretem de maneiras diversas. É surpreendente (e talvez também único, dada a proporção em que ocorrem) que tais divergências iniciais possam em grande parte desaparecer nas áreas que chamamos ciência.

As divergências realmente desaparecem em grau considerável e então, aparentemente, de uma vez por todas. Além disso, em geral seu desaparecimento é causado pelo triunfo de uma das escolas pré-paradigmáticas, a qual, devido a suas próprias crenças e preconceitos característicos, enfatizava apenas alguma parte especial do conjunto de informações demasiado numeroso e incoativo. Os eletricitistas que consideravam a eletricidade um fluido, e por isso davam uma ênfase especial à condução, proporcionam um exemplo típico excelente. Conduzidos por essa crença, que mal e mal podia dar conta da conhecida multiplicidade de efeitos de atração e repulsão, muitos deles conceberam a idéia de engarrar o fluido elétrico. O fruto imediato de seus esforços foi a Garrafa de Leyden, um artifício que nunca poderia ter sido descoberto por alguém que explorasse a natureza fortuitamente ou ao acaso. Entretanto, este artifício foi desenvolvido independentemente, pelo menos por dois investigadores no início da década de 1740.⁷ Quase desde o começo de suas pesquisas elétricas, Franklin estava especialmente interes-

7. ROLLER & ROLLER, *Op. cit.*, pp. 51-54.

sado em explicar aquele estranho e, em consequência, tão revelador aparelho. O sucesso na explicação proporcionou o argumento mais efetivo para a transformação de sua teoria em paradigma, apesar de este ser ainda incapaz de explicar todos os casos conhecidos de repulsão elétrica.⁸ Para ser aceita como paradigma, uma teoria deve parecer melhor que suas competidoras, mas não precisa (e de fato isso nunca acontece) explicar todos os fatos com os quais pode ser confrontada.

Aquilo que a teoria do fluido elétrico fez pelo subgrupo que a defendeu, o paradigma de Franklin fez mais tarde por todo o grupo dos eletricitas. Este sugeria as experiências que valeriam a pena ser feitas e as que não tinham interesse, por serem dirigidas a manifestações de eletricidade secundárias ou muito complexas. Entretanto, o paradigma realizou esta tarefa bem mais eficientemente do que a teoria do fluido elétrico, em parte porque o fim do debate entre as escolas deu um fim à reiteração constante de fundamentos e em parte porque a confiança de estar no caminho certo encorajou os cientistas a empreender trabalhos de um tipo mais preciso, esotérico e extenuante.⁹ Livre da preocupação com todo e qualquer fenômeno elétrico, o grupo unificado dos eletricitas pôde ocupar-se bem mais detalhadamente de fenômenos selecionados, projetando equipamentos especiais para a tarefa e empregando-os mais sistemática e obstinadamente do que jamais fora feito antes. Tanto a acumulação de fatos como a articulação da teoria tornaram-se atividades altamente orientadas. O rendimento e a eficiência da pesquisa elétrica aumentaram correspondentemente, proporcionando provas para uma versão societária do agudo dito metodológico de Francis Bacon: "A ver-

8. O caso mais problemático era a mútua repulsão de corpos carregados negativamente. A esse respeito ver COHEN, *op. cit.*, pp. 491-494 e 531-543.

9. Deve-se notar que a aceitação da teoria de Franklin não terminou com todo o debate. Em 1759, Robert Symmer propôs uma versão dessa teoria que envolvia dois fluidos e por muitos anos os eletricitas estiveram divididos a respeito da questão de se a eletricidade compunha-se de um ou dois fluidos. Mas os debates sobre este assunto apenas confirmaram o que foi dito acima a respeito da maneira como uma realização universalmente aceita une a profissão. Os eletricitas, embora continuassem divididos a esse respeito, concluíram rapidamente que nenhum teste experimental poderia distinguir as duas versões da teoria e portanto elas eram equivalentes. Depois disso, ambas escolas puderam realmente explorar todos os benefícios oferecidos pela teoria de Franklin (*Ibid.*, pp. 543-546, 548-554).

dade surge mais facilmente do erro do que da confusão".¹⁰

No próximo capítulo examinaremos a natureza dessa pesquisa precisamente orientada ou baseada em paradigma, mas antes indicaremos brevemente como a emergência de um paradigma afeta a estrutura do grupo que atua nesse campo. Quando, pela primeira vez no desenvolvimento de uma ciência da natureza, um indivíduo ou grupo produz uma síntese capaz de atrair a maioria dos praticantes de ciência da geração seguinte, as escolas mais antigas começam a desaparecer gradualmente. Seu desaparecimento é em parte causado pela conversão de seus adeptos ao novo paradigma. Mas sempre existem alguns que se aferram a uma ou outra das concepções mais antigas; são simplesmente excluídos da profissão e seus trabalhos são ignorados. O novo paradigma implica uma definição nova e mais rígida do campo de estudos. Aqueles que não desejam ou não são capazes de acomodar seu trabalho a ele têm que proceder isoladamente ou unir-se a algum grupo.¹¹ Historicamente, tais pessoas têm freqüentemente permanecido em departamentos de Filosofia, dos quais têm brotado tantas ciências especiais. Como sugerem essas indicações, algumas vezes é simplesmente a recepção de um paradigma que transforma numa profissão ou pelo menos numa disciplina um grupo que anteriormente interessava-se pelo estudo da natureza. Nas ciências (embora não em campos como a Medicina, a Tecnologia e o Direito, que têm a sua *raison d'être* numa necessidade social exterior) a criação de jornais especializados, a fundação de sociedades de especialistas e a reivindicação de um lugar especial nos currículos de

10. BACON. *Op. cit.* p. 210.

11. A história da eletricidade proporciona um excelente exemplo que poderia ser duplicado a partir das carreiras de Priestley, Kelvin e outros. Franklin assinala que Nollet, que era o mais influente dos eletricitas europeus na metade do século, "viveu o bastante para chegar a ser o último membro de sua seita, com a exceção do Sr. B. — seu discípulo e aluno mais imediato" (MAX FARRAND (ed.), *Benjamin Franklin's Memoirs* [Berkeley, Califórnia, 1949], pp. 384-86). Mais interessante é o fato de escolas inteiras terem sobrevivido isoladas da ciência profissional. Consideremos, por exemplo, o caso da Astrologia, que fora uma parte integral da Astronomia. Ou pensemos na continuação, durante o fim do século XVIII e começo do XIX, de uma tradição anteriormente respeitada de Química "romântica". Essa tradição é discutida por CHARLES C. GILLESPIE em "The *Encyclopédie* and the Jacobin Philosophy of Science: A Study in Ideas and Consequences", em *Critical Problems in the History of Science*, ed. Marshall Clagett (Madison, Wisconsin, 1959), pp. 255-89; e "The Formation of Lamarck's Evolutionary Theory", em *Archives internationales d'histoire des sciences*, XXXVII (1956), pp. 323-338.

estudo, têm geralmente estado associadas com o momento em que um grupo aceita pela primeira vez um paradigma único. Pelo menos foi isso que ocorreu, há século e meio atrás, durante o período que vai desde o desenvolvimento de um padrão institucional de especialização científica até a época mais recente, quando a parafernália de especializações adquiriu prestígio próprio.

A definição mais estrita de grupo científico tem outras conseqüências. Quando um cientista pode considerar um paradigma como certo, não tem mais necessidade, nos seus trabalhos mais importantes, de tentar construir seu campo de estudos começando pelos primeiros princípios e justificando o uso de cada conceito introduzido. Isso pode ser deixado para os autores de manuais. Mas, dado o manual, o cientista criador pode começar suas pesquisa onde o manual a interrompe e desse modo concentrar-se exclusivamente nos aspectos mais sutis e esotéricos dos fenômenos naturais que preocupam o grupo. Na medida em que fizer isso, seus relatórios de pesquisa começarão a mudar, seguindo tipos de evolução que têm sido muito pouco estudados, mas cujos resultados finais modernos são óbvios para todos e opressivos para muitos. Suas pesquisas já não serão habitualmente incorporadas a livros como *Experiências... sobre a Eletricidade* de Franklin ou a *Origem das Espécies* de Darwin, que eram dirigidos a todos os possíveis interessados no objeto de estudo do campo examinado. Em vez disso, aparecerão sob a forma de artigos breves, dirigidos apenas aos colegas de profissão, homens que certamente conhecem o paradigma partilhado e que demonstram ser os únicos capazes de ler os escritos a eles endereçados.

Hoje em dia os livros científicos são geralmente ou manuais ou reflexões retrospectivas sobre um ou outro aspecto da vida científica. O cientista que escreve um livro tem mais probabilidades de ver sua reputação comprometida do que aumentada. De uma maneira regular, somente nos primeiros estágios do desenvolvimento das ciências, anteriores ao paradigma, o livro possuía a mesma relação com a realização profissional que ainda conserva em outras áreas abertas à criatividade. É somente naquelas áreas em que o livro, com ou sem o artigo, mantém-se como um veículo para a

comunicação das pesquisas que as linhas de profissionalização permanecem ainda muito tenuemente traçadas. Somente nesses casos pode o leigo esperar manter-se a par dos progressos realizados fazendo a leitura dos relatórios originais dos especialistas. Tanto na Matemática como na Astronomia, já na Antiguidade os relatórios de pesquisas deixaram de ser inteligíveis para um auditório dotado de cultura geral. Na Dinâmica, a pesquisa tornou-se igualmente esotérica nos fins da Idade Média, recapturando sua inteligibilidade mais generalizada apenas por um breve período, durante o início do século XVII, quando um novo paradigma substituiu o que havia guiado a pesquisa medieval. A pesquisa elétrica começou a exigir uma tradução para leigos no fim do século XVIII. Muitos outros campos da ciência física deixaram de ser acessíveis no século XIX. Durante esses mesmos dois séculos transições similares podem ser identificadas nas diferentes áreas das ciências biológicas. Podem muito bem estar ocorrendo hoje, em determinados setores das ciências sociais. Embora se tenha tornado costumeiro (e certamente apropriado) lamentar o hiato cada vez maior que separa o cientista profissional de seus colegas de outras disciplinas, pouca atenção tem sido prestada à relação essencial entre aquele hiato e os mecanismos intrínsecos ao progresso científico.

Desde a Antiguidade um campo de estudos após o outro tem cruzado a divisa entre o que o historiador poderia chamar de sua pré-história como ciência e sua história propriamente dita. Essas transições à maturidade raramente têm sido tão repentinas ou tão inequívocas como minha discussão necessariamente esquemática pode ter dado a entender. Mas tampouco foram historicamente graduais, isto é, coextensivas com o desenvolvimento total dos campos de estudo em que ocorreram. Os que escreveram sobre a eletricidade durante as primeiras décadas do século XVIII possuíam muito mais informações sobre os fenômenos elétricos que seus predecessores do século XVI. Poucos fenômenos elétricos foram acrescentados a seus conhecimentos durante o meio século posterior a 1740. Apesar disso, em pontos importantes, a distância parece maior entre os trabalhos sobre a eletricidade de Cavendish, Coulomb e Volta (produzidos nas três últimas décadas

do século XVIII) e os de Gray, Du Fay e mesmo Franklin (início do mesmo século), do que entre esses últimos e os do século XVI.¹² Em algum momento entre 1740 e 1780, os eletricitistas tornaram-se capazes de, pela primeira vez, dar por estabelecidos os fundamentos de seu campo de estudo. Daí para a frente orientaram-se para problemas mais recônditos e concretos e passaram cada vez mais a relatar os resultados de seus trabalhos em artigos endereçados a outros eletricitistas, ao invés de em livros endereçados ao mundo instruído em geral. Alcançaram, como grupo, o que fora obtido pelos astrônomos na Antiguidade, pelos estudantes do movimento na Idade Média, pela Óptica Física no século XVII e pela Geologia Histórica nos princípios do século XIX. Elaboraram um paradigma capaz de orientar as pesquisas de todo o grupo. Se não se tem o poder de considerar os eventos retrospectivamente, torna-se difícil encontrar outro critério que revele tão claramente que um campo de estudos tornou-se uma ciência.

12. Os desenvolvimentos posteriores a Franklin incluem um aumento enorme na sensibilidade dos detectores de carga, as primeiras técnicas dignas de confiança e largamente difundidas para medir as cargas, a evolução do conceito de capacidade e sua relação com a noção de tensão elétrica, que fora recentemente refinada e ainda a quantificação da força eletrostática. Com respeito a todos esses pontos, consulte-se ROLLER & ROLLER, *op. cit.*, pp. 66-81; W. C. WALKER, "The Detection and Estimation of Electric Charges in the Eighteenth Century", em *Annals of Science*, I (1936), pp. 66-100; e EDMUND HOPPE, *Geschichte der Elektrizität* (Leipzig, 1884), Parte I, Caps. III-IV.

2. A NATUREZA DA CIÊNCIA NORMAL

Qual é então a natureza dessa pesquisa mais especializada e esotérica permitida pela aceitação de um paradigma único por parte de um grupo? Se o paradigma representa um trabalho que foi completado de uma vez por todas, que outros problemas deixa para serem resolvidos pelo grupo por ele unificado? Essas questões parecerão ainda mais urgentes se observarmos um aspecto no qual os termos utilizados até aqui podem ser enganadores. No seu uso estabelecido, um paradigma é um modelo ou padrão aceitos. Este aspecto de seu significado permitiu-me, na falta de termo melhor, servir-me dele aqui. Mas dentro em pouco ficará claro que o sentido de "modelo" ou "padrão" não é

o mesmo que o habitualmente empregado na definição de "paradigma". Por exemplo, na Gramática, "*amo, amas, amat*" é um paradigma porque apresenta um padrão a ser usado na conjugação de um grande número de outros verbos latinos — para produzir, entre outros, "*laudo, laudas, laudat*". Nesta aplicação costumeira, o paradigma funciona ao permitir a reprodução de exemplos, cada um dos quais poderia, em princípio, substituir aquele. Por outro lado, na ciência, um paradigma raramente é suscetível de reprodução. Tal como uma decisão judicial aceita no direito costumeiro, o paradigma é um objeto a ser melhor articulado e precisado em condições novas ou mais rigorosas.

Para que se compreenda como isso é possível, devemos reconhecer que um paradigma pode ser muito limitado, tanto no âmbito como na precisão, quando de sua primeira aparição. Os paradigmas adquirem seu *status* porque são mais bem sucedidos que seus competidores na resolução de alguns problemas que o grupo de cientistas reconhece como graves. Contudo, ser bem sucedido não significa nem ser totalmente bem sucedido com um único problema, nem notavelmente bem sucedido com um grande número. De início, o sucesso de um paradigma — seja a análise aristotélica do movimento, os cálculos ptolomaicos das posições planetárias, o emprego da balança por Lavoisier ou a matematização do campo eletromagnético por Maxwell — é, em grande parte, uma promessa de sucesso que pode ser descoberta em exemplos selecionados e ainda incompletos. A ciência normal consiste na atualização dessa promessa, atualização que se obtém ampliando-se o conhecimento daqueles fatos que o paradigma apresenta como particularmente relevantes, aumentando-se a correlação entre esses fatos e as predições do paradigma e articulando-se ainda mais o próprio paradigma.

Poucos dos que não trabalham realmente com uma ciência amadurecida dão-se conta de quanto trabalho de limpeza desse tipo resta por fazer, depois do estabelecimento do paradigma ou de quão fascinante é a execução desse trabalho. Esses pontos precisam ser bem compreendidos. A maioria dos cientistas, durante toda a sua carreira, ocupa-se com operações de limpeza. Elas constituem o que chamo de ciência normal. Examinado de perto, seja historicamente, seja no labo-

ratório contemporâneo, esse empreendimento parece ser uma tentativa de forçar a natureza a encaixar-se dentro dos limites preestabelecidos e relativamente inflexíveis fornecidos pelo paradigma. A ciência normal não tem como objetivo trazer à tona novas espécies de fenômeno; na verdade, aqueles que não se ajustam aos limites do paradigma freqüentemente nem são vistos. Os cientistas também não estão constantemente procurando inventar novas teorias; freqüentemente mostram-se intolerantes com aquelas inventadas por outros.¹ Em vez disso, a pesquisa científica normal está dirigida para a articulação daqueles fenômenos e teorias já fornecidos pelo paradigma.

Talvez essas características sejam defeitos. As áreas investigadas pela ciência normal são certamente minúsculas; ela restringe drasticamente a visão do cientista. Mas essas restrições, nascidas da confiança no paradigma, revelaram-se essenciais para o desenvolvimento da ciência. Ao concentrar a atenção numa faixa de problemas relativamente esotéricos, o paradigma força os cientistas a investigar alguma parcela da natureza com uma profundidade e de uma maneira tão detalhada que de outro modo seriam inimagináveis. E a ciência normal possui um mecanismo interno que assegura o relaxamento das restrições que limitam a pesquisa, toda vez que o paradigma do qual derivam deixa de funcionar efetivamente. Nessa altura os cientistas começam a comportar-se de maneira diferente e a natureza dos problemas de pesquisa muda. No intervalo, entretanto, durante o qual o paradigma foi bem sucedido, os membros da profissão terão resolvido problemas que mal poderiam ter imaginado e cuja solução nunca teriam empreendido sem o comprometimento com o paradigma. E pelo menos parte dessas realizações sempre demonstra ser permanente.

Para mostrar mais claramente o que entendemos por pesquisa normal ou baseada em paradigma, tentarei agora classificar e ilustrar os problemas que constituem essencialmente a ciência normal. Por conveniência, adio o estudo da atividade teórica e começo com a coleta de fatos, isto é, com as experiências e observações descri-

1. BARBER, Bernard, Resistance by Scientists to Scientific Discovery. *Science*, CXXXIV, pp. 596-602 (1961).

tas nas revistas técnicas, através das quais os cientistas informam seus colegas dos resultados de suas pesquisas em curso. De que aspectos da natureza tratam geralmente esses relatórios? O que determina suas escolhas? E, dado que a maioria das observações científicas consomem muito tempo, equipamento e dinheiro, o que motiva o cientista a perseguir essa escolha até uma conclusão?

Penso que existem apenas três focos normais para a investigação científica dos fatos e eles não são nem sempre nem permanentemente distintos. Em primeiro lugar, temos aquela classe de fatos que o paradigma mostrou ser particularmente reveladora da natureza das coisas. Ao empregá-los na resolução de problemas, o paradigma tornou-os merecedores de uma determinação mais precisa, numa variedade maior de situações. Numa época ou noutra, essas determinações significativas de fatos incluíram: na Astronomia — a posição e magnitude das estrelas, os períodos das eclipses das estrelas duplas e dos planetas; na Física — as gravidades e as compressibilidades específicas dos materiais, comprimentos de onda e intensidades espectrais, condutividades elétricas e potenciais de contato; na Química — os pesos de composição e combinação, pontos de ebulição e a acidez das soluções, as fórmulas estruturais e as atividades ópticas. As tentativas de aumentar a acuidade e extensão de nosso conhecimento sobre esses fatos ocupam uma fração significativa de literatura da ciência experimental e da observação. Muitas vezes, complexos aparelhos especiais têm sido projetados para tais fins. A invenção, a construção e o aperfeiçoamento desses aparelhos exigiram talentos de primeira ordem, além de muito tempo e um respaldo financeiro considerável. Os sincrotrons e os radiotelescópios são apenas os exemplos mais recentes de até onde os investigadores estão dispostos a ir, se um paradigma os assegurar da importância dos fatos que pesquisam. De Tycho Brahe até E. O. Lawrence, alguns cientistas adquiriram grandes reputações, não por causa da novidade de suas descobertas, mas pela precisão, segurança e alcance dos métodos que desenvolveram visando à redeterminação de categoria de fatos anteriormente conhecida.

Uma segunda classe usual, porém mais restrita, de fatos a serem determinados diz respeito àqueles fenôme-

nos que, embora freqüentemente sem muito interesse intrínseco, podem ser diretamente comparados com as predições da teoria do paradigma. Como veremos em breve, quando passamos dos problemas experimentais aos problemas teóricos da ciência normal, raramente encontramos áreas nas quais uma teoria científica pode ser diretamente comparada com a natureza, especialmente se é expressa numa forma predominantemente matemática. Até agora não mais do que três dessas áreas são acessíveis à Teoria Geral da Relatividade de Einstein.² Além disso, mesmo nas áreas onde a aplicação é possível, freqüentemente requer aproximações teóricas e instrumentais que limitam severamente a concordância a ser esperada. Aperfeiçoar ou encontrar novas áreas nas quais a concordância possa ser demonstrada coloca um desafio constante à habilidade e à imaginação do observador e experimentador. Telescópios especiais para demonstrar a paralaxe anual predita por Copérnico; a máquina de Atwood, inventada pela primeira vez quase um século depois dos *Principia*, para fornecer a primeira demonstração inequívoca da segunda lei de Newton; o aparelho de Foucault para mostrar que a velocidade da luz é maior no ar do que na água; ou o gigantesco medidor de cintilações, projetado para a existência do neutrino — esses aparelhos especiais e muitos outros semelhantes ilustram o esforço e a engenhosidade imensos que foram necessários para estabelecer um acordo cada vez mais estreito entre a natureza e a teoria.³ Esta tentativa de demonstrar esse acordo re-

2. O único índice de verificação conhecido de há muito e ainda geralmente aceito é a precessão do periélio de Mercúrio. A mudança para o vermelho no espectro de luz das estrelas distantes pode ser derivada de considerações mais elementares do que a relatividade geral, e o mesmo parece possível para a curvatura da luz em torno do Sol, um ponto atualmente em discussão. De qualquer modo, medições desse último fenômeno permanecem equívocas. Foi possível, mais recentemente, estabelecer um índice de verificação adicional: o deslocamento gravitacional da radiação de Mossbauer. Talvez em breve tenhamos outros índices neste campo atualmente ativo, mas adormecido de há muito. Para uma apresentação resumida e atualizada do problema, ver L. I. SCHIFF, A Report on the NASA Conference on Experimental Tests of Theories of Relativity, *Physics Today*, XIV, pp. 42-48 (1961).

3. No que toca aos telescópios de paralaxe, ver ABRAHAM WOLF, *A History of Science, Technology, and Philosophy in the Eighteenth Century* (2. ed.; Londres, 1952), pp. 103-105. Para a máquina de Atwood, ver N. R. HANSON, *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), pp. 100-102, 207-208. Quanto aos dois últimos tipos de aparelhos especiais, ver M. L. FOUCAULT, Méthode générale pour mesurer la vitesse de la lumière dans l'air et les milieux transparents. Vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau... em *Comptes rendus... de l'Académie des sciences*, XXX (1850), pp. 551-560; e C. L. COWAN, Jr. et al., Detection of the Free Neutrino: A Confirmation, *Science*, CXXIV, pp. 103-104 (1956).

presenta um segundo tipo de trabalho experimental normal que depende do paradigma de uma maneira ainda mais óbvia do que o primeiro tipo mencionado. A existência de um paradigma coloca o problema a ser resolvido. Frequentemente a teoria do paradigma está diretamente implicada no trabalho de concepção da aparelhagem capaz de resolver o problema. Sem os *Principia*, por exemplo, as medições feitas com a máquina de Atwood não teriam qualquer significado.

Creio que uma terceira classe de experiências e observações esgota as atividades de coleta de fatos na ciência normal. Consiste no trabalho empírico empreendido para articular a teoria do paradigma, resolvendo algumas de suas ambigüidades residuais e permitindo a solução de problemas para os quais ela anteriormente só tinha chamado a atenção. Essa classe revela-se a mais importante de todas e para descrevê-la é necessário subdividi-la. Nas ciências mais matemáticas, algumas das experiências que visam à articulação são orientadas para a determinação de constantes físicas. Por exemplo, a obra de Newton indicava que a força entre duas unidades de massa a uma unidade de distância seria a mesma para todos os tipos de matéria, em todas as posições do universo. Mas os problemas que Newton examinava podiam ser resolvidos sem nem mesmo estimar o tamanho dessa atração, a constante da gravitação universal. E durante o século que se seguiu ao aparecimento dos *Principia*, ninguém imaginou um aparelho capaz de determinar essa constante. A famosa determinação de Cavendish, na última década do século XVIII, tampouco foi a última. Desde então, em vista de sua posição central na teoria física, a busca de valores mais precisos para a constante gravitacional tem sido objeto de repetidos esforços de numerosos experimentadores de primeira qualidade.⁴ Outros exemplos de trabalhos do mesmo tipo incluíam determinações da unidade astronômica, do número de Avogadro, do coeficiente de Joule, de carga elétrica, e assim por diante. Poucos desses complexos esforços teriam sido concebidos e nenhum teria

4. J. H. POYNTING examina umas duas dúzias de medidas da constante gravitacional efetuadas entre 1741 e 1901 em "Gravitational Constant and Mean Density of the Earth", *Encyclopedia Britannica* (11. ed. Cambridge, 1910-11), XII, pp. 385-389.

sido realizado sem uma teoria do paradigma para definir o problema e garantir a existência de uma solução estável.

Contudo, os esforços para articular um paradigma não estão restritos à determinação de constantes universais. Podem, por exemplo, visar a leis quantitativas: a Lei de Boyle, que relaciona a pressão do gás ao volume, a Lei de Coulomb sobre a atração elétrica, e a fórmula de Joule, que relaciona o calor produzido à resistência e à corrente elétrica — todas estão nessa categoria. Talvez não seja evidente que um paradigma é um pré-requisito para a descoberta de leis como essas. Ouvimos frequentemente dizer que elas são encontradas por meio do exame de medições empreendidas sem outro objetivo que a própria medida e sem compromissos teóricos. Mas a história não oferece nenhum respaldo para um método tão excessivamente baconiano. As experiências de Boyle não eram concebíveis (e se concebíveis teriam recebido uma outra interpretação ou mesmo nenhuma) até o momento em que o ar foi reconhecido como um fluido elétrico ao qual poderiam ser aplicados todos os elaborados conceitos de Hidrostática.⁵ O sucesso de Coulomb dependeu do fato de ter construído um aparelho especial para medir a força entre cargas extremas. (Aqueles que anteriormente tinham medido forças elétricas com balanças de pratos comuns, etc... não encontraram nenhuma regularidade simples ou coerente.) Mas essa concepção do aparelho dependeu do reconhecimento prévio de que cada partícula do fluido elétrico atua a distância sobre todas as outras. Era a força entre tais partículas — a única força que podia, com segurança, ser considerada uma simples função da distância — que Coulomb estava buscando.⁶ As experiências de Joule também poderiam ser usadas para ilustrar como leis quantitativas surgem da articulação do paradigma. De fato: a relação entre paradigma qualitativo e lei quantitativa

5. Para a transplantação dos conceitos de Hidrostática para a Pneumática, ver *The Physical Treatises of Pascal*, traduzido por I. H. B. Spiers e A. G. H. Spiers, com introdução e notas por F. Barry (Nova York, 1937). Na p. 164 encontramos a introdução original de Torricelli ao paralelismo ("Nós vivemos submergidos no fundo de um oceano do elemento ar"). Seu rápido desenvolvimento é apresentado nos dois tratados principais.

6. ROLLER, Duane & ROLLER, Duane H. D. *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), pp. 66-80.

é tão geral e tão estreita que, desde Galileu, essas leis com frequência têm sido corretamente adivinhadas com o auxílio de um paradigma, anos antes que um aparelho possa ser projetado para sua determinação experimental.⁷

Finalmente, existe uma terceira espécie de experiência que visa à articulação de um paradigma. Esta, mais do que as anteriores, pode assemelhar-se à exploração e predomina especialmente naqueles períodos e ciências que tratam mais dos aspectos qualitativos das regularidades da natureza do que dos quantitativos. Frequentemente um paradigma que foi desenvolvido para um determinado conjunto de problemas é ambíguo na sua aplicação a outros fenômenos estreitamente relacionados. Nesse caso experiências são necessárias para permitir uma escolha entre modos alternativos de aplicação do paradigma à nova área de interesse. Por exemplo, as aplicações do paradigma da teoria calorífica referiam-se ao aquecimento e resfriamento por meio de misturas e mudança de estado. Mas o calor podia ser liberado ou absorvido de muitas outras maneiras — por exemplo, por combinação química, por fricção e por compressão ou absorção de um gás — e a cada um desses fenômenos a teoria podia ser aplicada de diversas maneiras. Por exemplo, se o vácuo tivesse uma capacidade térmica, o aquecimento por compressão poderia ser explicado como sendo o resultado da mistura do gás com o vazio. Ou poderia ser devido a uma mudança no calor específico de gases sob uma pressão variável. E existem várias outras explicações além dessas. Muitas experiências foram realizadas para elaborar essas várias possibilidades e distinguir entre elas; todas essas experiências brotaram da teoria calórica enquanto paradigma e todas a exploraram no planejamento de experiências e na interpretação dos resultados.⁸ Uma vez estabelecido o fenômeno do aquecimento por compressão, todas as experiências posteriores nessa área foram determinadas pelo paradigma. Dado o fenômeno, de que outra maneira se poderia ter escolhido uma experiência para elucidá-lo?

7. Para exemplos, ver T. S. KUHN, *The Function of Measurement in Modern Physical Science*, *Isis*, LII, pp. 161-193 (1961).

8. KUHN, T. S., *The Caloric Theory of Adiabatic Compression*, *Isis*, XLIX, pp. 132-140 (1958).

Voltemos agora aos problemas teóricos da ciência normal, que pertencem aproximadamente à mesma classe que os da experimentação e da observação. Uma parte (embora pequena) do trabalho teórico normal consiste simplesmente em usar a teoria existente para prever informações fatuais dotadas de valor intrínseco. O estabelecimento de calendários astronômicos, a computação das características das lentes e a produção de curvas de propagação das ondas de rádio são exemplos de problemas desse tipo. Contudo, em geral os cientistas os consideram um trabalho enfadonho, que deve ser relegado a engenheiros ou técnicos. Muitos desses problemas nunca aparecem em periódicos científicos importantes. Mas esses periódicos contêm numerosas discussões teóricas de problemas que, para o não-cientista, devem parecer quase idênticas: são manipulações da teoria, empreendidas não porque as predições que delas resultam sejam intrinsecamente valiosas, mas porque podem ser verificadas diretamente através de experiências. Seu objetivo é apresentar uma nova aplicação do paradigma ou aumentar a precisão de uma aplicação já feita.

A necessidade de trabalho dessa espécie brota das dificuldades imensas que com frequência são encontradas no estabelecimento de pontos de contato entre uma teoria e a natureza. Tais dificuldades podem ser sucintamente ilustradas pela história da Dinâmica depois de Newton. No início do século XVIII, aqueles cientistas que tomavam os *Principia* por paradigma aceitaram como válida a totalidade de suas conclusões. Possuíam todas as razões possíveis para fazê-lo. Nenhum outro trabalho conhecido na História da Ciência permitiu simultaneamente uma ampliação tão grande do âmbito e da precisão da pesquisa. Com relação aos céus, Newton derivara as leis do movimento planetário de Kepler e explicara também alguns dos aspectos, já observados, nos quais a Lua não obedecia a essas leis. Com relação à terra, derivara os resultados de algumas observações esparsas sobre os pêndulos e as marés. Com auxílio de pressupostos adicionais, embora *ad hoc*, fora capaz de derivar a Lei de Boyle e uma fórmula importante para a velocidade do som no ar. Dado o estado da ciência na época, o sucesso das demonstrações foi sumamente impressionante. Contudo, dada a universalidade presumível das Leis de Newton, o número dessas aplicações

não era grande. Newton quase não desenvolveu outras. Além disso, se comparadas com o que hoje em dia qualquer estudante graduado de Física pode obter com as mesmas leis, as poucas aplicações de Newton não foram nem mesmo desenvolvidas com precisão. Finalmente, os *Principia* tinham sido planejados para serem aplicados sobretudo a problemas de Mecânica Celeste. Não era de modo algum claro como se deveria adaptá-lo para aplicações terrestres e em especial aos problemas do movimento violento. De qualquer modo, os problemas terrestres já estavam sendo atacados com grande sucesso com auxílio de um conjunto de técnicas bem diferentes, desenvolvidas originalmente por Galileu e Huyghens e ampliadas no Continente europeu durante o século XVIII por Bernoulli, d'Alembert e muitos outros. Presumivelmente essas técnicas e as dos *Principia* poderiam ser apresentadas como casos especiais de uma formulação mais geral, mas durante algum tempo ninguém percebeu como fazê-lo.⁹

Limitemos nossa atenção ao problema da precisão por um momento. Já ilustramos seu aspecto empírico. Equipamentos especializados — como o aparelho de Cavendish, a máquina de Atwood ou telescópios aperfeiçoados — foram necessários para obter os dados especiais exigidos pelas aplicações concretas do paradigma de Newton. Do lado da teoria existiam dificuldades semelhantes para a obtenção de um acordo. Por exemplo, ao aplicar suas leis aos pêndulos, por exemplo, Newton foi forçado a tratar a bola do pêndulo como uma massa pontual, a fim de dar uma definição única do comprimento do pêndulo. A maioria de seus teoremas também ignoraram o efeito da resistência do ar, afora poucas exceções hipotéticas e preliminares. Essas eram aproximações físicas fundamentadas. Não obstante isso, enquanto aproximações elas limitavam que se poderia esperar entre as predições de Newton e as experiências reais. As mesmas dificuldades aparecem ainda mais claramente na aplicação astronômica da teoria de

9. C. TRUESDELL, A Program toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason, em *Archive for History of the Exact Sciences*, I (1960), pp. 3-36 e Reactions of the Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error, and Failure in Newton's *Principia*, *Texas Quarterly*, X, pp. 281-297 (1967). T. L. HANKINS, The Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century, em *Archives Internationales d'histoire des sciences*, XX (1967), pp. 42-65

Newton. Simples observações telescópicas quantitativas indicam que os planetas não obedecem completamente às Leis de Kepler e de acordo com a teoria de Newton não deveriam obedecer. Para derivar essas leis, Newton foi forçado a negligenciar toda a atração gravitacional, exceção feita daquela entre os planetas individuais e o Sol. Uma vez que os planetas também se atraem reciprocamente, somente se poderia esperar um acordo aproximado entre a teoria aplicada e a observação telescópica.¹⁰

O acordo obtido foi, evidentemente, mais do que satisfatório para aqueles que o alcançaram. Com exceção feita de alguns problemas relativos à Terra, nenhuma teoria podia apresentar resultados comparáveis. Nenhum dos que questionaram a validade da obra de Newton o fizeram por causa do acordo limitado entre a experiência e a observação. Não obstante isso, essas limitações do acordo deixaram muitos problemas teóricos fascinantes para os sucessores de Newton. Por exemplo, técnicas teóricas eram necessárias para tratar dos movimentos simultâneos de mais de dois corpos que se atraem mutuamente e para investigar a estabilidade das órbitas perturbadas. Problemas dessa natureza preocuparam muitos dos melhores matemáticos europeus durante o século XVIII e o começo do XIX. Euler, Lagrange, Laplace e Gauss, todos consagraram alguns de seus trabalhos mais brilhantes a problemas que visavam aperfeiçoar a adequação entre o paradigma de Newton e a observação celeste. Muitas dessas figuras trabalharam simultaneamente para desenvolver a Matemática necessária a aplicações que nem mesmo Newton ou a Escola de Mecânica européia, sua contemporânea, haviam considerado. Produziram, por exemplo, uma imensa literatura e algumas técnicas matemáticas muito poderosas para a Hidrodinâmica e para as cordas vibratórias. Esses problemas de aplicação são responsáveis por aquilo que provavelmente é o trabalho científico mais brilhante e esgotante do século XVIII. Outros exemplos poderiam ser descobertos através de um exame do período pós-paradigmático no desenvolvimento da Termodinâmica, na teoria ondulatória da luz, na teo-

10. WOLF, *op. cit.*, pp. 75-81, 96-101; e WILLIAM WHEWELL, *History of the Inductive Sciences* (ed. rev., Londres, 1847), II, pp. 213-71.

ria eletromagnética ou em qualquer outro ramo da ciência cujas leis fundamentais são totalmente quantitativas. Pelo menos nas ciências mais matemáticas, a maior parte do trabalho teórico pertence a esse tipo.

Mas nem sempre é assim. Mesmo nas ciências matemáticas existem problemas teóricos relacionados com a articulação do paradigma. Durante aqueles períodos em que o desenvolvimento científico é sobretudo qualitativo, esses problemas são dominantes. Alguns dos problemas, tanto nas ciências mais quantitativas como nas mais qualitativas, visam simplesmente à clarificação do paradigma por meio de sua reformulação. Os *Principia*, por exemplo, nem sempre se revelaram uma obra de fácil aplicação, em parte porque retinha algo do desajeitamento inevitável de uma primeira aventura, em parte porque uma fração considerável de seu significado estava apenas implícito nas suas aplicações. Seja como for, um conjunto de técnicas da Europa, aparentemente sem relação entre si, parecia muito mais poderoso para muitas aplicações terrestres. Por isso, desde Euler e Lagrange no século XVIII até Hamilton, Jacobi e Hertz no século XIX, muitos dos mais brilhantes físicos-matemáticos da Europa esforçaram-se repetidamente para reformular a teoria mecânica sob uma forma equivalente, mas lógica e esteticamente mais satisfatória. Ou seja: desejavam exibir as lições explícitas e implícitas dos *Principia* e da Mecânica europeia numa versão logicamente mais coerente, versão que seria ao mesmo tempo mais uniforme e menos equívoca nas suas aplicações aos problemas recentemente elaborados pela Mecânica.¹¹

Reformulações similares de um paradigma ocorreram repetidamente em todas as ciências, mas a maioria delas produziu mais mudanças substanciais no paradigma do que as reformulações dos *Principia* citadas acima. Tais transformações resultaram do trabalho empírico previamente descrito como dirigido à articulação do paradigma. Na verdade, é arbitrário classificar essa espécie de trabalho como sendo empírico. Mais do que qualquer outra espécie de pesquisa normal, os problemas apresentados pela articulação do paradigma são si-

multaneamente teóricos e experimentais; os exemplos apresentados anteriormente servirão igualmente bem neste caso. Coulomb, antes de poder construir seu equipamento e utilizá-lo em medições, teve que empregar a teoria elétrica para determinar como seu equipamento deveria ser construído. Suas medições tiveram como consequência um refinamento daquela teoria. Dito de outra maneira: os homens que conceberam as experiências para distinguir entre as várias teorias do aquecimento por compressão foram geralmente os mesmos que haviam elaborado as versões a serem comparadas. Estavam trabalhando tanto com fatos como com teorias e seus trabalhos produziram não apenas novas informações, mas um paradigma mais preciso, obtido com a eliminação das ambigüidades que haviam sido retidas na versão original que utilizavam. Em muitas ciências, a maior parte do trabalho normal é desse tipo.

Essas três classes de problemas — determinação do fato significativo, harmonização dos fatos com a teoria e articulação da teoria — esgotam, creio, a literatura da ciência normal, tanto teórica como empírica. Certamente não esgotam toda a literatura da ciência. Existem também problemas extraordinários e bem pode ser que sua resolução seja o que torna o empreendimento científico como um todo tão particularmente valioso. Mas os problemas extraordinários não surgem gratuitamente. Emergem apenas em ocasiões especiais, geradas pelo avanço da ciência normal. Por isso, inevitavelmente, a maioria esmagadora dos problemas que ocupam os melhores cientistas coincidem com uma das três categorias delineadas acima. O trabalho orientado por um paradigma só pode ser conduzido dessa maneira. Abandonar o paradigma é deixar de praticar a ciência que este define. Descobriremos em breve que tais deserções realmente ocorrem. São os pontos de apoio em torno dos quais giram as revoluções científicas. Mas antes de começar o estudo de tais revoluções, necessitamos de uma visão mais panorâmica das atividades da ciência normal que lhes preparam o caminho.

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

3. A CIÊNCIA NORMAL COMO RESOLUÇÃO DE QUEBRA-CABEÇAS

Talvez a característica mais impressionante dos problemas normais da pesquisa que acabamos de examinar seja seu reduzido interesse em produzir grandes novidades, seja no domínio dos conceitos, seja no dos fenômenos. Algumas vezes, como no caso da medição de um comprimento de onda, tudo é conhecido de antemão, exceto o detalhe mais esotérico. Por sua vez, o quadro típico de expectativas é apenas um pouco menos determinado. Talvez as medições de Coulomb não precisassem ter sido ajustadas à Lei do Quadrado Inverso; com frequência, aqueles que trabalhavam no problema do aquecimento por compressão não ignoravam que

muitos outros resultados diferentes eram possíveis. Contudo, mesmo em casos desse tipo, a gama de resultados esperados (e portanto assimiláveis) é sempre pequena se comparada com as alternativas que a imaginação pode conceber. Em geral, o projeto cujo resultado não coincide com essa margem estreita de alternativas é considerado apenas uma pesquisa fracassada, fracasso que não se reflete sobre a natureza, mas sobre o cientista.

No século XVIII, por exemplo, prestava-se pouca atenção a experiências que medissem a atração elétrica utilizando instrumentos como a balança de pratos. Tais experiências não podiam ser empregadas para articular o paradigma do qual derivavam, pois produziam resultados que não eram nem coerentes, nem simples. Por isso, continuavam sendo *simples* fatos, desprovidos de relação e sem conexão possível com o progresso contínuo da pesquisa elétrica. Apenas retrospectivamente, já na posse de um paradigma posterior, é que podemos ver as características dos fenômenos elétricos que essas experiências nos apresentam. Sem dúvida alguma Coulomb e seus contemporâneos possuíam esse último paradigma ou um outro, o qual, aplicado ao problema da atração, permitia esperar os mesmos resultados. É por isso que Coulomb foi capaz de conceber um aparelho que produziu resultados assimiláveis através de uma articulação do paradigma. É por isso também que esse resultado não surpreendeu a ninguém e vários contemporâneos de Coulomb foram capazes de predizê-lo de antemão. Até mesmo o projeto cujo objetivo é a articulação de um paradigma não visa produzir uma novidade *inesperada*.

Mas mesmo se o objetivo da ciência normal não consiste em descobrir novidades substantivas de importância capital e se o fracasso em aproximar-se do resultado antecipado é geralmente considerado como um fracasso pessoal do cientista — então por que dedicar tanto trabalho a esses problemas? Parte da resposta já foi apresentada. Pelo menos para os cientistas, os resultados obtidos pela pesquisa normal são significativos porque contribuem para aumentar o alcance e a precisão com os quais o paradigma pode ser aplicado. Entretanto, essa resposta não basta para explicar o entusiasmo e a devoção que os cientistas demonstram pelos problemas da pesquisa normal. Ninguém consagra anos, por exemplo, ao desenvolvimento de espectrômetro mais preciso ou à

produção de uma solução mais elaborada para o problema das cordas vibratórias, simplesmente pela importância da informação a ser obtida. Os dados que podem ser alcançados por meio do cálculo de calendários ou por meio de medições suplementares realizadas com um instrumento já existente são, com frequência, tão significativos como os obtidos nos casos mencionados acima — mas essas atividades são habitualmente menosprezadas pelos cientistas, pois não são nada além da repetição de procedimentos empregados anteriormente. Essa rejeição proporciona uma pista para entendermos o fascínio exercido pelos problemas da pesquisa normal. Embora seu resultado possa, em geral, ser antecipado de maneira tão detalhada que o que fica por conhecer perde todo o interesse, a maneira de alcançar tal resultado permanece muito problemática. Resolver um problema da pesquisa normal é alcançar o antecipado de uma nova maneira. Isso requer a solução de todo o tipo de complexos quebra-cabeças instrumentais, conceituais e matemáticos. O indivíduo que é bem sucedido nessa tarefa prova que é um perito na resolução de quebra-cabeças. O desafio apresentado pelo quebra-cabeça constitui uma parte importante da motivação do cientista para o trabalho.

Os termos “quebra-cabeça” e “solucionador de quebra-cabeças” colocam em evidência vários dos temas que adquiriram uma importância crescente nas páginas precedentes. Quebra-cabeça indica, no sentido correto em que empregamos o termo, aquela categoria particular de problemas que servem para testar nossa engenhosidade ou habilidade na resolução de problemas. Os dicionários dão como exemplo de quebra-cabeças as expressões “jogo de quebra-cabeça”* e “palavras cruzadas”. Precisamos agora isolar as características que esses exemplos partilham com os problemas da ciência normal. Acabamos de mencionar um desses traços comuns. O critério que estabelece a qualidade de um bom quebra-cabeça nada tem a ver com o fato de seu resultado ser intrinsecamente interessante ou importante. Ao contrário, os problemas realmente importantes em geral

* Em inglês, *jigsaw puzzle*. A palavra refere-se aos quebra-cabeças compostos por peças, com as quais o jogador deve formar uma figura qualquer. Cada uma das peças é parte da figura desejada, possuindo uma e somente uma posição adequada no todo a ser formado (N. do T.).

não são quebra-cabeças (veja-se o exemplo da cura do câncer ou o estabelecimento de uma paz duradoura), em grande parte porque talvez não tenham nenhuma solução possível. Consideremos um jogo de quebra-cabeças cujas peças são selecionadas ao acaso em duas caixas contendo peças de jogos diferentes. Tal problema provavelmente colocará em xeque (embora isso possa não acontecer) o mais engenhoso dos homens e por isso não pode servir como teste para determinar a habilidade de resolver problemas. Este não é de forma alguma um quebra-cabeças no sentido usual do termo. O valor intrínseco não é critério para um quebra-cabeça. Já a certeza de que este possui uma solução pode ser considerado como tal.

Já vimos que uma comunidade científica, ao adquirir um paradigma, adquire igualmente um critério para a escolha de problemas que, enquanto o paradigma for aceito, poderemos considerar como dotados de uma solução possível. Numa larga medida, esses são os únicos problemas que a comunidade admitirá como científicos ou encorajará seus membros a resolver. Outros problemas, mesmo muitos dos que eram anteriormente aceitos, passam a ser rejeitados como metafísicos ou como sendo parte de outra disciplina. Podem ainda ser rejeitados como demasiado problemáticos para merecerem o dispêndio de tempo. Assim, um paradigma pode até mesmo afastar uma comunidade daqueles problemas sociais relevantes que não são redutíveis à forma de quebra-cabeça, pois não podem ser enunciados nos termos compatíveis com os instrumentos e conceitos proporcionados pelo paradigma. Tais problemas podem constituir-se numa distração para os cientistas, fato que é brilhantemente ilustrado por diversas facetas do baconismo do século XVIII e por algumas das ciências sociais contemporâneas. Uma das razões pelas quais a ciência normal parece progredir tão rapidamente é a de que seus praticantes concentram-se em problemas que somente a sua falta de engenho pode impedir de resolver.

Entretanto, se os problemas da ciência normal são quebra-cabeças no sentido acima mencionado, não precisamos mais perguntar por que os cientistas os enfrentam com tal paixão ou devoção. Um homem pode sentir-se atraído pela ciência por todo o tipo de razões. Entre

essas estão o desejo de ser útil, a excitação advinda da exploração de um novo território, a esperança de encontrar ordem e o impulso para testar o conhecimento estabelecido. Esses motivos e muitos outros também auxiliam a determinação dos problemas particulares com os quais o cientista se envolverá posteriormente. Além disso, existem boas razões para que motivos dessa natureza o atraiam e passem a guiá-lo, embora ocasionalmente possam levá-lo a uma frustração.¹ O empreendimento científico, no seu conjunto, revela sua utilidade de tempos em tempos, abre novos territórios, instaura ordem e testa crenças estabelecidas há muito tempo. Não obstante isso, o *indivíduo* empenhado num problema de pesquisa normal *quase nunca está fazendo qualquer dessas coisas*. Uma vez engajado em seu trabalho, sua motivação passa a ser bastante diversa. O que o incita ao trabalho é a convicção de que, se for suficientemente habilidoso, conseguirá solucionar um quebra-cabeça que ninguém até então resolveu ou, pelo menos, não resolveu tão bem. Muitos dos grandes espíritos científicos dedicaram toda sua atenção profissional a complexos problemas dessa natureza. Em muitas situações, os diferentes campos de especialização nada mais oferecem do que esse tipo de dificuldades. Nem por isso esses quebra-cabeças passam a ser menos fascinantes para os indivíduos que a eles se dedicam com aplicação.

Consideremos agora um outro aspecto, mais difícil e revelador, do paralelismo entre os quebra-cabeças e os problemas da ciência normal. Para ser classificado como quebra-cabeça, não basta a um problema possuir uma solução assegurada. Deve obedecer a regras que limitam tanto a natureza das soluções aceitáveis como os passos necessários para obtê-las. Solucionar um jogo de quebra-cabeça não é, por exemplo, simplesmente "montar um quadro". Qualquer criança ou artista contemporâneo poderia fazer isso, espalhando peças selecionadas sobre um fundo neutro, como se fossem formas abstratas. O quadro assim produzido pode ser bem melhor (e certamente seria mais original) que aquele construído a

1. Contudo, as frustrações induzidas pelo conflito entre o papel do indivíduo e o padrão global do desenvolvimento científico podem ocasionalmente tornar-se sérias. Sobre esse assunto, ver LAWRENCE S. KUBIE, *Some Unsolved Problems of the Scientific Career*, *American Scientist*, XLI, pp. 596-613 (1953); e XLII, pp. 104-112 (1954).

partir do quebra-cabeça. Não obstante isso, tal quadro não seria uma solução. Para que isso aconteça todas as peças devem ser utilizadas (o lado liso deve ficar para baixo) e entrelaçadas de tal modo que não fiquem espaços vazios entre elas. Essas são algumas das regras que governam a solução de jogos de quebra-cabeça. Restrições similares concernentes às soluções admissíveis para palavras cruzadas, charadas, problemas de xadrez, etc... podem ser descobertas facilmente.

Se aceitarmos uma utilização consideravelmente mais ampla do termo "regra" — identificando-o eventualmente com "ponto de vista estabelecido" ou "concepção prévia" — então os problemas acessíveis a uma determinada tradição de pesquisa apresentam características muito similares às dos quebra-cabeças. O indivíduo que constrói um instrumento para determinar o comprimento de ondas ópticas não se deve contentar com um equipamento que não faça mais do que atribuir números a determinadas linhas espectrais. Ele não é apenas um explorador ou medidor, mas, ao contrário, alguém que deve mostrar (utilizando a teoria óptica para analisar seu equipamento) que os números obtidos coincidem com aqueles que a teoria prescreve para os comprimentos de onda. Se alguma indeterminação residual da teoria ou algum componente não-analisado de seu equipamento impedi-lo de completar sua demonstração, seus colegas poderão perfeitamente concluir que ele não mediu absolutamente nada. Por exemplo, os índices máximos de dispersão de elétrons que mais tarde seriam vistos como índices do comprimento de onda dos elétrons não possuíam nenhuma significação aparente quando foram observados e registrados pela primeira vez. Antes de se tornarem medida de alguma coisa, foi necessário relacioná-los a uma teoria que predissesse o comportamento ondulatório da matéria em movimento. E mesmo depois de essa relação ter sido estabelecida, o equipamento teve que ser reorganizado para que os resultados experimentais pudessem ser correlacionados sem equívocos com a teoria.² Enquanto essas condições não foram satisfeitas, nenhum problema foi resolvido.

2. Para um breve relato da evolução dessas experiências, ver a p. 4 da conferência de C. J. DAVISSON em *Les prix Nobel en 1937* (Estocolmo, 1938).

Restrições semelhantes ligam as soluções admissíveis aos problemas teóricos. Durante todo o século XVIII, os cientistas que tentaram deduzir o movimento observado da Lua partindo das leis do movimento de Newton fracassaram sistematicamente. Em vista disso, alguns deles sugeriram a substituição da Lei do Quadrado das Distâncias por uma lei que se afastasse dessa quando se tratasse de pequenas distâncias. Contudo, fazer isso seria modificar o paradigma, definir um novo quebra-cabeça e deixar sem solução o antigo. Nessa situação, os cientistas preferiram manter as regras até que, em 1750, um deles descobriu como se poderia utilizá-las com sucesso.³ Somente uma modificação nas regras poderia ter oferecido uma outra alternativa.

O estudo das tradições da ciência normal revela muitas outras regras adicionais. Tais regras proporcionam uma quantidade de informações adicionais a respeito dos compromissos que os cientistas derivam de seus paradigmas. Quais são as principais categorias sob as quais podem ser subsumidas essas regras?⁴ A mais evidente e provavelmente a mais coercitiva pode ser exemplificada pelas generalizações que acabamos de mencionar, isto é, os enunciados explícitos das leis, conceitos e teorias científicos. Enquanto são reconhecidos, tais enunciados auxiliam na formulação de quebra-cabeças e na limitação das soluções aceitáveis. Por exemplo, as Leis de Newton desempenharam tais funções durante os séculos XVIII e XIX. Enquanto essa situação perdurou, a quantidade de matéria foi uma categoria antológica fundamental para os físicos e as forças que atuam entre pedaços de matéria constituíram-se num dos tópicos dominantes para a pesquisa.⁵ Na Química, as leis das proporções fixas e definidas tiveram, durante muito tempo, uma importância equivalente — para estabelecer o problema dos pesos atômicos, fixar os resultados admissíveis das análises químicas e informar aos químicos o que eram os átomos e as moléculas, os

3. WHEWELL, W. *History of the Inductive Sciences*. (ed. rev.; Londres, 1847), II, pp. 101-05, 220-22.

4. Essa questão foi-me sugerida por W. O. Hagstrom, cujos trabalhos sobre a Sociologia da Ciência coincidem algumas vezes com os meus.

5. Com relação a esses aspectos do newtonismo, ver I. B. COHEN, *Franklin and Newton; An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Filadélfia, 1956), Cap. VII, especialmente pp. 255-57, 275-77.

compostos e as misturas.⁶ As equações de Maxwell e as leis da Termodinâmica Estatística possuem atualmente a mesma influência e desempenham idêntica função.

Contudo, regras dessa natureza não são as únicas e nem mesmo a variedade mais interessante dentre as reveladas pelo estudo histórico. Num nível inferior (ou mais concreto) que o das leis e teorias existe, por exemplo, uma multidão de compromissos relativos a tipos de instrumentos preferidos e a maneiras adequadas para utilizá-los. Mudanças de atitudes com relação ao papel do fogo nas análises químicas tiveram uma importância capital no desenvolvimento da Química do século XVII.⁷ Helmholtz, no século XIX, encontrou grande resistência por parte dos fisiologistas no tocante à idéia de que a experimentação física pudesse trazer esclarecimentos para seu campo de estudos.⁸ Durante o mesmo século, a curiosa história da cromatografia apresenta um outro exemplo da persistência dos compromissos dos cientistas com tipos de instrumentos, os quais, tanto como as leis e teorias, proporcionam as regras do jogo para os cientistas.⁹ Quando analisamos a descoberta dos raios X, encontramos razões para compromissos dessa natureza.

Os compromissos de nível mais elevado (de caráter quase metafísico) que o estudo histórico revela com tanta regularidade, embora não sejam características imutáveis da ciência, são menos dependentes de fatores locais e temporários que os anteriormente mencionados. Por exemplo, depois de 1630 e especialmente após o aparecimento dos trabalhos imensamente influentes de Descartes, a maioria dos físicos começou a partir do pressuposto de que o Universo era composto por corpúsculos microscópicos e que todos os fenômenos naturais poderiam ser explicados em termos da forma, do tamanho do movimento e da interação corpusculares. Esse conjunto de compromissos revelou possuir tanto dimensões metafísicas como metodológicas. No plano

6. Esse exemplo é discutido detalhadamente no fim do Cap. 9.

7. 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.

8. KÖNIGSBERGER, Leo. *Hermann von Helmholtz*. (Oxford, 1906), pp. 65-66, trad. de Francis A. Welby.

9. MEINHARD, James E. *Chromatography: A Perspective*. *Science*, CX, pp. 387-92 (1949).

metafísico, indicava aos cientistas que espécies de entidades o Universo continha ou não continha — não havia nada além de matéria dotada de forma e em movimento. No plano metodológico, indicava como deveriam ser as leis definitivas e as explicações fundamentais: leis devem especificar o movimento e a interação corpusculares; a explicação deve reduzir qualquer fenômeno natural a uma ação corpuscular regida por essas leis. O que é ainda mais importante, a concepção corpuscular do Universo indicou aos cientistas um grande número de problemas que deveriam ser pesquisados. Por exemplo, um químico que, como Boyle, abraçou a nova filosofia, prestava atenção especial àquelas reações que podiam ser interpretadas como transmutações. Isto porque, mais claramente do que quaisquer outras, tais reações apresentavam o processo de reorganização corpuscular que deve estar na base de toda transformação química.¹⁰ Outros efeitos similares da teoria corpuscular podem ser observados no estudo da Mecânica, da Óptica e do calor.

Finalmente, num nível mais elevado, existe um outro conjunto de compromissos ou adesões sem os quais nenhum homem pode ser chamado de cientista. Por exemplo, o cientista deve preocupar-se em compreender o mundo e ampliar a precisão e o alcance da ordem que lhe foi imposta. Esse compromisso, por sua vez, deve levá-lo a perscrutar com grande minúcia empírica (por si mesmo ou através de colegas) algum aspecto da natureza. Se esse escrutínio revela bolsões de aparente desordem, esses devem desafiá-lo a um novo refinamento de suas técnicas de observação ou a uma maior articulação de suas teorias. Sem dúvida alguma existem ainda outras regras desse gênero, aceitas pelos cientistas em todas as épocas.

A existência dessa sólida rede de compromissos ou adesões — conceituais, teóricas, metodológicas e instrumentais — é uma das fontes principais da metáfora que relaciona à ciência normal à resolução de quebra-cabeças. Esses compromissos proporcionam ao prati-

10. Para as teorias corpusculares em geral, ver MARIE BOAS, *The Establishment of the Mechanical Philosophy*, *Osiris*, X, pp. 412-541 (1952). No que diz respeito a seus efeitos sobre a química de Boyle, ver T. S. KUHN, *Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century*, *Isis*, XLIII, pp. 12-36 (1952).

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

4. A PRIORIDADE DOS PARADIGMAS

Para descobrir a relação existente entre regras, paradigmas e a ciência normal começaremos considerando a maneira pela qual o historiador isola os pontos específicos de compromissos que acabamos de descrever como sendo regras aceitas. A investigação histórica cuidadosa de uma determinada especialidade num determinado momento revela um conjunto de ilustrações recorrentes e quase padronizadas de diferentes teorias nas suas aplicações conceituais, instrumentais e na observação. Essas são os paradigmas da comunidade, revelados nos seus manuais, conferências e exercícios de laboratório. Ao estudá-los e utilizá-los na prática, os membros da comunidade considerada aprendem seu ofí-