

A FUNÇÃO DO DOGMA NA INVESTIGAÇÃO
CIENTÍFICA

T. S. KUHN

Não tenho dúvidas de que cada um dos participantes deste simpósio adoptou, a dada altura de sua carreira, a ideia do cientista como o investigador sem preconceitos em busca da verdade; o explorador da natureza — o homem que rejeita preconceitos quando entra no laboratório, que coleciona e examina os factos crus, objectivos, e que é fiel a tais factos e só a eles. Estas são as características que fazem do testemunho dos cientistas um valioso elemento na propagação de produtos variados e em exclusivo nos Estados Unidos. Mesmo perante uma audiência interna-cional não é preciso esclarecer mais. Ser científico é, entre outras coisas, ser objectivo e ter um espírito aberto.

Provavelmente nenhum de nós acredita que o cientista da vida real consegue na prática realizar tal ideal. A experiência pessoal, as novelas de *Sir Charles Snow* ou o estudo da historia da ciência fornecem numerosos desmentidos. Embora a actividade científica posso ter, e não precisando muito o sentido desta frase, um espírito aberto, o cientista individual muito frequentemente não o tem. Quer o seu trabalho seja predominantemente teórico, quer seja experimental, o cientista normalmente parece conhecer, antes do projecto de investigação estar razoavelmente avançado, pormenores dos resultados que se vão alcançar com tal projecto. Se o resultado aparece depressa, ótimo. Se não, ele lutará com os seus instrumentos e com as suas equações até que, se tal for possível, lhe forneçam os resultados que sejam conformes com o seu modelo e que ele tinha previsto desde o começo. Não é só com o seu traba-

lho de investigação que o cientista mostra a sua convicção firme relativamente aos fenómenos que a natureza lhe apresenta e relativamente à maneira como podem ser encaixadas na teoria. É frequente que as mesmas convicções se evidenciem mais claramente ainda nas reacções ao trabalho dos outros. Desde a recepção de Galileu ao trabalho de Kepler, à recepção de Nageli ao trabalho de Mendel, à rejeição dos trabalhos de Gay Lussac por Dalton, à rejeição de Maxwell por Kelvin, as novidades inesperadas nos factos e nas teorias têm, o que é significativo, encontrado resistências e têm sido com frequência rejeitadas por muitos dos mais criativos membros, da comunidade profissional científica. O historiador, pelo menos este, não precisa de facto que seja Planck a lembrar-lhe que: «Uma verdade científica nova não é geralmente apresentada de maneira a convencer os que se lhe opõem... simplesmente a pouco e pouco eles morrem, e nova geração que se forma familiariza-se com a verdade desde o princípio (Planck, 1948).

Factos familiares como estes — e eles poderiam facilmente ser multiplicados — não parecem ser reveladores duma actividade cujos praticantes sejam pessoas de espírito especialmente aberto. Poderão esses factos integrar-se na nossa imagem habitual da investigação científica produtiva? Se, no passado, um reajustamento não parecia apresentar dificuldades de fundo, isso devia-se provavelmente ao facto de que tais resistências e preconceitos eram geralmente considerados como elementos estranhos à ciência. Esses factos aberrantes seriam, é o que nos têm ensinado muitas vezes, apenas o produto das inevitáveis limitações *humanas*; num verdadeiro método científico não há lugar para tal; e esse método é de tal modo poderoso que a mera idiossincracia humana não pode por muito tempo impedir o seu êxito. Com essa maneira de ver, os exemplos de *parti pris* científicos são reduzidos ao estado de anedotas, e o que se pretende com este ensaio é precisamente atacar tal ponto de vista. A verosimilhança, por si só, sugere que tal ataque se impõe. Preconceitos e resis-

tência parecem ser mais a regra do que a excepção no desenvolvimento científico avançado. Além disso, em condições normais eles caracterizam a melhor investigação, a mais criativa como a mais rotineira. Não está também em questão saber qual a sua origem. Não se trata de características aberrantes de indivíduos, mas de características da comunidade com raízes profundas no processo como os cientistas são treinados para trabalhar na sua profissão. As convicções fortes que existem antes da própria investigação aparecem frequentemente como precondições para o sucesso das ciências.

É claro que estou a adiantar-me demais na minha história, mas assim já destaquei o meu tema principal. Embora o preconceito e a resistência às inovações possam muito facilmente pôr um freio ao progresso científico, a sua onipresença é porém sintomática como característica requerida para que a investigação tenha continuidade e vitalidade. Características desse tipo, tomadas colectivamente, é o que eu designo como o dogmatismo das ciências maduras, e nas páginas que se seguem tentarei precisar alguns dos seus aspectos. A educação científica «semeia» o que a comunidade científica, com dificuldade, alcançou até aí — uma adesão profunda a uma maneira particular de ver o mundo e praticar a ciência. Tal adesão pode ser, e é, de tempos em tempos, substituída por outra, mas nunca pode ser facilmente abandonada. E, enquanto característica da comunidade dos praticantes profissionais, tal adesão mostra-se, sob dois aspectos, fundamental, para a investigação produtiva. Definindo para cada cientista individual os problemas susceptíveis de ser analisados e ao mesmo tempo a natureza das soluções aceitáveis para eles, a adesão é de facto um elemento necessário à investigação. Normalmente o cientista é um solucionador de *puzzles* como um jogador de xadrez, e a adesão induzida pela educação é o que lhe dá as regras do jogo que se pratica no seu tempo. Na sua ausência, ele não seria um físico, um químico ou o que quer que fosse aquilo para que tivesse sido preparado.

Além do mais, essa adesão tem um segundo papel na investigação que é em parte incompatível com o primeiro. A força que ela tem e a unanimidade com que é partilhada pelo grupo profissional fornecem ao cientista individual um detector imensamente sensível dos focos de dificuldades donde surgem inevitavelmente as inovações importantes nos factos e nas teorias. Nas ciências a maior parte das descobertas de factos inesperados e todas as inovações fundamentais da teoria são respostas a um fracasso prévio usando as regras do jogo estabelecido. Portanto, embora uma adesão quase dogmática seja, por um lado, uma fonte de resistência e controvérsia, é também um instrumento inestimável que faz das ciências a actividade humana mais consistentemente revolucionária. Uma pessoa não precisa de fazer da resistência ou do dogma uma virtude para reconhecer que as ciências maduras não podem viver sem eles.

Antes de continuar a examinar a natureza e as consequências do dogma científico, vejamos qual o esquema de educação pelo qual ele é transmitido por uma geração de profissionais à seguinte. Os cientistas não formam, evidentemente, a única comunidade profissional que adquiere pela educação um conjunto de padrões, instrumentos e técnicas que mais tarde usam no seu próprio trabalho criativo. Porém uma rápida vista de olhos pela pedagogia científica sugere que ela pode induzir uma rigidez profissional praticamente impossível de alcançar noutros campos, excepto na Teologia. Admito que essa exposição esteja deformada pelo esquema americano, que é o que conheço melhor. Os contrastes que tenho em vista, porém, devem ser nas devidas proporções igualmente visíveis na educação europeia e britânica.

Talvez que a característica mais extraordinária da educação científica, característica que é levada a um ponto desconhecido noutros campos de actividade criativa, seja a de se fazerem, com os manuais, obras escritas especialmente para estudantes. Até que ele esteja preparado, ou quase preparado para fazer a sua dissertação, o estudante

de Química, Física, Astronomia, Geologia ou Biologia, raramente é posto face ao problema de conduzir um projecto de investigação, ou colocado face aos produtos directos da investigação conduzida por outros — isto é, as comunicações profissionais que os cientistas escrevem para os seus colegas. As coleções de «textos originais» têm um papel limitado na educação científica. Igualmente, o estudante de ciência não é encorajado a ler os clássicos da história do seu campo — obras onde poderia encontrar outras maneiras de olhar as questões discutidas nos textos, mas onde também poderia encontrar problemas, conceitos e soluções padronizados que a sua futura profissão há muito pôs de lado e substituiu (1). Whitehead aprendeu esse aspecto bastante específico das ciências quando escreveu algures: «Uma ciência que hesita em esquecer os seus fundadores está perdida.»

O facto de ser quase exclusivamente baseada em manuais não é tudo o que há de específico na educação científica. Os estudantes de outros domínios também são, ao fim e ao cabo, expostos à acção de tais livros, embora raramente depois do segundo ano de universidade, e mesmo nos primeiros anos de uma forma menos exclusiva. Mas, enquanto que, nas ciências, se há manuais diferentes é porque expõem assuntos diferentes, nas humanidades e em várias Ciências Sociais há manuais que apresentam diferentes tratamentos para uma mesma problemática. Mesmo livros que estão em concorrência para serem adoptados num mesmo curso científico diferem sobretudo só no nível de apresentação e nos pormenores pedagógicos e não no conteúdo ou no conjunto das ideias. É com dificuldade que se pode imaginar um físico ou um químico afirmar que

(1) Cada ciência individual apresenta algumas variações no que respeita a esta questão. Os estudantes das ciências novas e também das menos teóricas — isto é, alguns aspectos da Biologia, Geologia e Ciências Médicas — têm mais oportunidade de deparar com trabalhos originais tanto históricos como modernos do que, por exemplo, os estudantes de Astronomia, Matemática ou Física.

foi obrigado a começar a educação dos seus alunos do terceiro ano quase a partir de primeiros princípios porque a exposição prévia do assunto a que eles tinham sido submetidos se fizera por livros que violavam constantemente a ideia que ele tinha da disciplina. Observações desse tipo não são, muito pelo contrário, raras em várias Ciências Sociais. Aparentemente os cientistas estão de acordo sobre o que é que cada estudante deve saber da matéria. Essa é a razão que explica por que, na preparação dum currículo pré-profissional, eles podem usar manuais em vez dum combinação eclética de originais de investigação.

Do mesmo modo, a técnica de apresentação dos assuntos, característica dos manuais científicos não é a mesma que nos outros campos. Excepto nas introduções ocasionais, que os estudantes raramente lêem, os leigos não fazem grande esforço para descrever o tipo de problemas que o profissional será chamado a resolver ou discutir, a *dever-sidade* de técnicas que a experiência pôs à disposição para a sua resolução. Pelo contrário, esses livros apresentam, desde o começo, soluções concretas de problemas que a profissão aceita como paradigmas, e então pede-se aos estudantes que, quer usando um lápis e papel quer servindo-se dum laboratório, resolvam por si mesmo problemas modelados à semelhança, na substância e no método, dos que o livro lhes deu a conhecer. Só na instrução elementar de línguas ou no treino dum instrumento musical é tão importante e essencial a prática de «exercícios de dedo». Estes são justamente os campos em que o objecto da instrução é produzir com o máximo de rapidez «quadros mentais» fortes ou *Einstellungen*. Sugiro que nas ciências o efeito dessas técnicas é exactamente o mesmo. Embora o desenvolvimento científico seja particularmente produtivo em novidades que se sucedem, a educação científica continua a ser uma iniciação relativamente dogmática a uma tradição pré-estabelecida de resolver problemas, para a qual o estudante não é convidado e não está preparado para apreciar.

O esquema de educação sistemática dos manuais que acabamos de descrever não existia em nenhuma parte e em nenhuma ciência (excepto talvez a Matemática elementar) até ao começo do século XIX. Mas antes dessa época já um certo número de ciências mais desenvolvidas evidenciava claramente, e em certos casos desde há já bastante tempo, as características especiais acima indicadas. Onde não existiam manuais, havia com frequência paradigmas universais aceites para a prática das várias ciências. Eram constituídos pelos feitos científicos descritos em livros que todos os praticantes num dado campo conheciam intimamente e admiravam, feitos que davam os modelos para as suas próprias investigações e os padrões para avaliar os seus próprios resultados. A *Physica* de Aristóteles, o *Almagesta* de Ptolomeu, os *Principia* e a *Opticks* de Newton, a *Electricidade* de Franklin, a *Química* de Lavoisier e a *Geologia* de Lyell — estas obras e muitas outras foram todas utilizadas implicitamente, durante algum tempo, para definir os problemas legítimos e os métodos de investigação para sucessivas gerações de praticantes. No seu tempo cada um desses livros, juntamente com outros escritos seguindo o modelo por eles iniciado, teve no seu domínio mais ou menos a mesma função que têm hoje os manuais dum ciência.

Todas as obras acima indicadas são, como é sabido, clássicos da ciência. Assim sendo, poder-se-ia pensar que elas se assemelham aos grandes clássicos noutros campos criativos, a um Rembrandt, ou a um Adam Smith. Tratando essas obras, ou os feitos que estão por trás delas, como paradigmas em vez de clássicos, quero sugerir que há algo especial nelas, algo que as coloca à parte tanto dos outros clássicos da ciência como de todos os clássicos de outros domínios da criação.

Parte desse «algo especial» é o que chamarei a exclusividade dos paradigmas. Em qualquer época os praticantes dum dada especialidade poderão reconhecer numerosos clássicos, alguns dos quais — tal como acontece com as obras de Ptolomeu e Copérnico, Newton e Des-

cartes — praticamente incompatíveis entre si. Mas um dado grupo, se tem mesmo um paradigma, só pode ter um. Ao contrário da comunidade dos artistas — que se pode inspirar simultaneamente nas obras de, por exemplo, Rembrandt e Cézanne, e que portanto estuda um e outro — a comunidade dos astrónomos não tinha alternativa senão escolher *entre* os modelos em competição fornecidos por Copérnico e Ptolomeu. Além disso, uma vez feita a escolha, os astrónomos passavam a esquecer a obra que tinham rejeitado. Desde o século XVI só houve duas edições completas do *Almagesta*, ambas produzidas no século XIX e dirigidas excusivamente aos académicos. Nas ciências maduras parece não existir função equivalente à de um museu de arte ou à de uma biblioteca de clássicos. Os cientistas sabem quando é que os livros, e mesmo os jornais científicos, estão ultrapassados. Embora não os destruam, eles transferem-nos, como qualquer historiador da ciência pode testemunhar, das bibliotecas activas da especialidade para o nunca usado depósito geral da universidade. As obras actualizadas que vieram tomar o seu lugar são tudo o que o progresso da ciência exige.

Essa característica dos paradigmas está estreitamente ligada a outra, que tem particular importância na minha utilização do termo. Ao aceitar um paradigma, a comunidade científica adere toda ela, conscientemente ou não, à atitude de considerar que todos os problemas resolvidos o foram de facto, e de uma vez para sempre. É o que Lagrange tinha em vista quando dizia de Newton: «Não há senão um universo e não pode haver senão um homem na história universal para interpretar as suas leis»⁽²⁾. Os exemplos, de Aristóteles ou de Einstein, provam que Lagrange estava errado, mas tal não altera a importância que teve a sua convicção para o desenvolvimento da ciência. Acreditando que o que Newton fizera não precisava de

⁽²⁾ Assim referido por Mason (1856). O original, que é semelhante em espírito, mas não nas palavras, parece provir dum elogio da época feito por Delambre (1816).

ser feito outra vez. Lagrange não se deixava atrair por novas reinterpretações fundamentais da natureza. Pelo contrário, ele poderia começar onde os homens que partilhavam o mesmo paradigma newtoniano tinham ficado, esforçando-se uns e outros por chegar a uma formulação mais clara do paradigma e a uma estruturação que o aproximasse cada vez mais das observações da natureza. Esse tipo de trabalho só pode ser feito por pessoas que sentem que o modelo que usam é inteiramente seguro. Não há nada disto nas artes, e os paralelos nas Ciências Sociais são no melhor dos casos parciais. Os paradigmas determinam todo um esquema de desenvolvimento para as ciências maduras que não se assemelha ao esquema usual noutros domínios.

Tal diferença poderia ser ilustrada comparando-se o desenvolvimento duma ciência baseada em paradigmas como, por exemplo, a Filosofia ou a Literatura. O mesmo objectivo pode porém ser alcançado de maneira mais económica, contrastando-se o esquema de desenvolvimento inicial de qualquer ciência com o esquema característico da mesma ciência já na maturidade. Não consigo deixar de pôr a questão de um modo demasiado esquemático, mas o que tenho em vista é isto. Excepto em domínios como a Bioquímica, que tem origem na combinação de especialidades já existentes, os paradigmas são uma aquisição a que se chega relativamente tarde no processo de desenvolvimento científico. Durante os seus primeiros anos uma ciência trabalha sem recurso a eles, ou pelo menos de forma menos inequívoca e limitador do que a dos casos atrás referidos. A óptica física antes de Newton ou o estudo do calor antes de Black e Lavoisier são exemplos de esquemas de desenvolvimento pré-paradigmáticos como o que examinarei adiante com a história da electricidade. Enquanto esse desenvolvimento continua, isto é, até que se chega a um primeiro paradigma, o desenvolvimento duma ciência aproxima-se mais do desenvolvimento das artes e da maior parte das Ciências Sociais do que do esquema que a Astronomia, por exemplo, tinha já adquirido na antiguidade e que hoje é comum a todas as ciências.

Para perceber a diferença entre desenvolvimento científico pré- e post-paradigma, consideremos um exemplo simples. No começo do século XVIII, como no século XVIII e antes dele, havia quase tantos pontos de vista sobre a natureza da electricidade como o número de experimentadores importantes, homens como Haukbee, Gary Desaguliers, Du Fay, Nollet, Watson e Franklin. Todos os conceitos que eles possuíam sobre a electricidade tinham origem nas experiências e observações e também numa ou outra das versões da Filosofia mecânico-corpuscular que orientava toda a investigação científica da época. Contudo, esses elementos comuns davam aos seus trabalhos apenas uma vaga semelhança. Somos forçados a admitir a existência de várias escolas e sub-escolas em competição, indo cada uma buscar a sua força à sua ligação com uma versão particular (cartesiana ou newtoniana) da metafísica corpuscular, e dando cada uma relevo especial ao conjunto de fenómenos eléctricos mais facilmente explicado por ela. As outras observações eram explicadas usando construções *ad hoc* ou eram deixadas como problemas importantes para investigações futuras ⁽³⁾.

Um dos primeiros grupos de teóricos da electricidade seguia a prática normal do século XVII, e tomava portanto a atracção e a geração de electricidade por fricção como os fenómenos eléctricos fundamentais. Tinham tendência a considerar a repulsão como um efeito secundário (no século XVII ela era explicada por uma espécie de efeito de resalto mecânico) e a adiar tanto quanto possível a discussão e a investigação sistemática sobre o efeito de Gray, que se acabara então de descobrir, a condução eléctrica. Outro grupo estreitamente ligado a este considerava a repulsão como o efeito fundamental, enquanto outro ainda

⁽³⁾ Pode encontrar-se bastante documentação sobre a história do desenvolvimento da electricidade em Roller e Roller (1956). No que respeita a análises de pormenor contudo, devo muito a um artigo ainda não publicado (1963) do meu aluno John L. Heilbron, que me auxilhou nas três notas que se seguem.

tomava ao mesmo tempo a repulsão e a atracção como manifestações elementares da electricidade. Cada um destes últimos grupos alterava a sua teoria e a sua investigação da maneira que lhe convinha, mas acabava por ter tanta dificuldade como o primeiro para explicar o mais elementar dos efeitos de condução. Esses efeitos serviam de ponto de partida para um terceiro grupo, grupo que tinha tendência a falar da electricidade como dum «fluido» percorrendo os condutores, e não como um «efluvio» emanado dos corpos não-condutores. Esse grupo, por sua vez, tinha dificuldade em reconciliar a sua teoria com um número razoável de efeitos de atracção e repulsão ⁽⁴⁾.

Em épocas diferentes, cada uma dessas escolas trouxe contribuições significativas para o corpo de conceitos, fenómenos e técnicas de onde Franklin extraiu o primeiro paradigma para as ciências eléctricas. Uma definição do cientista que exclua os membros dessas escolas deverá excluir igualmente os seus sucessores modernos. Contudo, alguém que se debruce sobre o desenvolvimento da electricidade antes de Franklin pode muito bem tirar a conclusão de que, embora os praticantes no ofício fossem cientistas, o resultado imediato da sua actividade era algo menos do que ciência. Cada experimentador em electricidade era forçado a construir o seu domínio de novo a partir da base, uma vez que o conjunto de convicções que ele podia tomar como certas era muito limitado. Ao fazer isso, a sua escola de experiências e observações fundamentais era rela-

⁽⁴⁾ Esta divisão em escolas é ainda, de certo modo, simplista. Desde 1720 que a divisão fundamental se faz entre a escola francesa (Du Fay, Nollet, etc.), que baseava a sua teoria em efeitos de atracção-repulsão, e a escola inglesa (Desaguliers, Watson, etc.), que se concentrava nos efeitos de condução. Cada um dos grupos tinha imensa dificuldade em explicar os fenómenos que o outro tomava como básicos. (Ver, por exemplo, o trabalho de Needham sobre as investigações de Lomonier (1746).) Dentro de cada um dos grupos, e em particular no inglês, é possível distinguir mais subdivisões dependendo da consideração, quer da atracção, quer da repulsão, como efeito eléctrico de maior importância.

tivamente livre, porque o conjunto de métodos, padrão e fenómenos que cada teórico da electricidade podia utilizar e explicar era extraordinariamente reduzido. Como consequência, durante a primeira metade do século, as investigações em electricidade tendiam a andar em círculo, voltando sempre ao mesmo ponto. Descobriam-se novos efeitos repetidas vezes, mas muitos deles perdiam-se rapidamente de novo. Entre os que se perderam, havia muitos efeitos causados pelo que hoje se chama a carga induzida e também a famosa descoberta de Du Fay dos dois tipos de electricidade. Franklin e Kinnersley ficaram surpreendidos quando, cerca de quinze anos depois, o segundo descobriu que uma esfera carregada que fosse repelida pelo vidro friccionado era atraída pelo lacre ou pelo âmbar^(*). Na ausência duma teoria, bem articulada e amplamente aceite (uma propriedade que nenhuma ciência possui de início e que poucas das Ciências Sociais, ou mesmo nenhuma, possuem actualmente), a situação só muito difficilmente podia ter sido diferente. Para os teóricos da electricidade, durante a primeira metade do século XVIII não havia maneira de distinguir consistentemente entre efeitos eléctricos e não-eléctricos, entre acidentes de laboratório e novidades essenciais, ou entre exhibições brilhantes e experiências que revelassem aspectos essenciais da natureza da electricidade.

(*) A descoberta, de Du Fay, das duas espécies de electricidade que se atraíam uma à outra, mas se auto-repelião, é descrita e documentada com bastante pormenor na quarta parte das suas famosas memórias sobre electricidade (1735). Estas memórias eram bem conhecidas e muitas vezes citadas, porém Desaguliers (1741) parece ter sido o único teórico da electricidade que, durante um período de quase duas décadas, chega a dizer que alguns corpos carregados electricamente se atraem uns aos outros. No que respeita à «surpresa» de Franklin e Kinnersley, ver Cohen (1941). É de notar também que, embora Kinnersley tenha *produzido* o efeito, nem ele nem Franklin parece terem reconhecido que dois corpos resinosos carregados se repelião um ao outro, fenómeno que estava em contradição directa com a teoria de Franklin.

Foi esta situação que Franklin mudou^(*). A sua teoria explicava tantos — embora não todos — efeitos eléctricos reconhecidos pelas várias escolas anteriores que no espaço de uma geração todos os teóricos da electricidade foram convertidos a maneiras de ver quase idênticas. Embora não pusesse fim a todos os desacordos a teoria de Franklin constituiu o primeiro paradigma da electricidade e a experiência dele dá um tom e um sabor novo às investigações em electricidade nas últimas décadas do século XVIII. O fim dos debates inter-escolas pôs fim à constante reavaliação dos fundamentos: a convicção de estarem a seguir o caminho correcto dava coragem aos teóricos da electricidade para se lançarem em trabalhos de maior envergadura, mais exactos e esotéricos. Liberto das preocupações gerais levantadas com os fenómenos eléctricos, o novo grupo agora unido podia orientar-se para fenómenos eléctricos seleccionados e estudá-los com muito mais pormenor, concebendo aparelhagem especializada para o seu trabalho e utilizando-a com uma persistência e um grau de sistematização desconhecidas dos anteriores teóricos da electricidade. Nas mãos dum Cavendish, dum Coulomb ou dum Volta, a verificação dos fenómenos eléctricos e a articulação da teoria da electricidade tornaram-se, pela primeira vez, actividades altamente orientadas. Como consequência,

(*) A mudança não se deve, é claro, somente a Franklin, nem ocorreu dum dia para o outro. Outros teóricos da electricidade, muito em especial William Watson, antecederam aspectos da teoria de Franklin. Mais importante ainda, foi só depois de modificações essenciais feitas principalmente por Aepinus, que a teoria de Franklin se tornou de uso corrente, condição necessária para ser um paradigma. E mesmo então continuaram a subsistir duas formulações da teoria: a do tipo «um fluido» de Franklin-Aepinus e a do tipo «dois fluidos» devida, principalmente a Symmer. Os teóricos da electricidade rapidamente chegaram à conclusão de que nenhum teste poderia talvez discriminar entre as duas teorias. Até à descoberta da bateria, quando a escolha entre a teoria de «um fluido» e a teoria de «dois fluidos» começou a ter algum sentido dado que originava diferenças frequentes no projecto ou análise das experiências, as duas teorias eram equivalentes.

a eficiência e a eficácia da investigação em electricidade aumentaram extraordinariamente, comprovando ao nível social o preceito metodológico de Francis Bacon: «A verdade emerge mais rapidamente a partir do erro do que da confusão».

É evidente que estou a exagerar tanto a rapidez como o grau de acabamento com que se faz a transição para um paradigma. Mas isso não torna o próprio acontecimento menos real. O amadurecimento da electricidade como ciência não acompanha o desenvolvimento geral da electricidade. Os autores sobre electricidade durante as primeiras quatro décadas do século XVIII possuíam bastante mais informação acerca dos fenómenos eléctricos do que os seus antecessores dos séculos XVI e XVII. Durante o meio século a seguir a 1745, muito poucos fenómenos eléctricos se vieram acrescentar à lista dos já existentes. Porém, nos seus aspectos importantes, os textos sobre electricidade das últimas duas décadas do século pareciam mais distantes de Gray, Du Fay e mesmo Franklin do que estavam essas teorias da electricidade do começo do século XVIII dos seus antecessores de há mais de cem anos. Durante o período de 1740 a 1780, os teóricos da electricidade alcançaram, como um grupo, o que os astrónomos tinham conseguido na antiguidade, os estudiosos da mecânica na Idade Média, os da optica física no fim do século XVII e os da geologia histórica no começo do século XIX. Tinham chegado a um paradigma, e a posse deste permitia-lhes considerarem os fundamentos do seu campo de actividade como bem estabelecidos e enveredar para problemas mais concretos e mais complexos (1). É difícil conceber outro critério

(1) É de notar que este primeiro paradigma da electricidade foi completamente eficaz só até 1800, quando a descoberta da bateria e o multiplicar dos efeitos electroquímicos iniciaram uma revolução na teoria da electricidade. Até que um novo paradigma aparecesse dessa revolução, a literatura sobre a electricidade, particularmente na Inglaterra, retornou em vários aspectos ao estilo característico da primeira metade do século XVIII.

que estabeleça tão claramente o campo de actividade duma ciência.

Essas observações já devem começar a esclarecer o que é que considero ser paradigma. É, em primeiro lugar, um resultado científico fundamental que inclui ao mesmo tempo uma teoria e algumas aplicações tipo aos resultados das experiências e da observação. Mais importante ainda, é um resultado cuja conclusão está em aberto e que põe de lado toda a espécie de investigação ainda por fazer. E, por fim, é um resultado aceite no sentido de que é recebido por um grupo cujos membros deixam de tentar opor-lhe rival ou de criar-lhe alternativas. Pelo contrário, tentam desenvolvê-lo e explorá-lo numa variedade de formas a que voltarei a seguir. A discussão do trabalho que os paradigmas deixam para ser feito tornará ainda mais claro tanto o seu papel como os motivos da sua especial eficácia. Antes, porém, é preciso frisar um aspecto bastante importante. Embora a adopção dum paradigma pareça historicamente uma pré-condição para uma investigação científica mais eficaz, os paradigmas que aumentam a eficácia da investigação não necessitam de ser, e geralmente não são, permanentes. Pelo contrário, no esquema de desenvolvimento das ciências maduras vai-se passando, em regra, de um paradigma para outro. Esse esquema diferencia-se do esquema característico dos períodos de começo ou de pré-paradigma não por causa da eliminação total do debate em torno dos fundamentos, mas pela restrição drástica de tal debate, aos períodos ocasionais de mudança de paradigma.

O *Almagesta* de Ptolomeu, por exemplo, não deixa de ser um paradigma pelo facto de a tradição de investigação que partia dele acabar por ser substituída por outra incompatível com ele baseada nos trabalhos de Copérnico e Kepler. Nem o *Opticks* de Newton deixou de ser um paradigma para os estudantes dos fenómenos da luz no século XVIII, por ter sido depois substituído pela teoria ondulatoria do éter de Young e Fresnel, um paradigma que por sua vez cedeu lugar à teoria do deslocamento electromagnético que se constituiu a partir de Maxwell. Não há

dúvida de que o trabalho de investigação que um dado paradigma permite torna-se uma contribuição duradoura para o corpo do conhecimento científico, mas os próprios paradigmas são com frequência postos de lado e substituídos por outros bastante incompatíveis com eles. Não podemos recorrer a noções como «verdade» ou «validade» a propósito dos paradigmas para compreender a especial eficácia da investigação que a sua aceitação permite.

Pelo contrário, o historiador tem com frequência de reconhecer que com a rejeição da perspectiva proposta por dada escola pré-paradigma uma comunidade científica rejeitou o embrião de uma importante ideia científica a que será forçada a voltar mais tarde. Mas está longe de ser óbvio que se tenha atrasado o desenvolvimento científico com esse procedimento. Teria a mecânica quântica nascido antes se os cientistas do século XIX estivessem mais facilmente dispostos a admitir que a visão corpuscular da luz de Newton poderia ainda ter algo de significativo a ensinar-lhes sobre a natureza? Penso que não, embora nas artes, nas humanidades, e em várias Ciências Sociais uma tal visão menos doutrinária seja adotada com frequência em relação aos efeitos clássicos do passado. Ou teriam a Astronomia e a Dinâmica avançado mais depressa se os cientistas tivessem reconhecido que tanto Ptolomeu como Copérnico tinham escolhido processos igualmente legítimos para descrever a posição da Terra? Tal posição foi, de facto, sugerida durante o século XVII e depois confirmada pela teoria da relatividade. Mas até lá ela foi, juntamente com a Astronomia de Ptolomeu, vigorosamente rejeitada, vindo ao cimo de novo só no fim do século XIX quando, pela primeira vez, se relacionava concretamente com os insolúveis problemas postos pela prática usual da Física não-relativista. Poder-se-á argumentar, e fá-lo-ei realmente, que uma atenção demorada durante os séculos XVIII e XIX, quer às obras de Ptolomeu, quer às posições relativistas de Descartes, Huygens e Leibniz, teria atrasado em vez de acelerar a revolução na Física com que começou o século XX. O avanço de

paradigma em paradigma, em vez de perpetuar uma concorrência entre clássicos reconhecidos, deve ser uma característica funcional e um facto inerentes ao desenvolvimento científico maduro.

Muito do que se disse até aqui tem a intenção de indicar que — excepto durante os períodos ocasionais extraordinários a ser discutidos na última parte deste artigo — os praticantes duma especialidade científica madura aderem profundamente a determinada maneira de olhar e investigar a natureza baseada num paradigma. O paradigma diz-lhe qual o tipo de entidades com que o universo está povoado e qual a maneira como essa população se comporta; além disso, informa-os de quais as questões sobre a natureza que podem legitimamente ser postas e das técnicas que podem ser devidamente aplicadas na busca das respostas a essas questões. De facto, um paradigma diz tantas coisas aos cientistas que as questões que ele deixa para investigar raramente têm algum interesse intrínseco para os que estão fora da profissão. Embora pessoas cultivadas possam ficar fascinadas ao ouvir descrever o espectro das partículas elementares ou os processos de réplica molecular, em geral o seu interesse quase sempre desaparece rapidamente com uma apresentação das convicções que estão à partida, na base da investigação desses problemas. O resultado do projecto de investigação individual é-lhes indiferente, e o seu interesse tem poucas probabilidades de voltar a ser despertado outra vez até que, como aconteceu com a não-conservação da paridade, a investigação leve a inesperadas mudanças nas convicções que guiam a investigação. E sem dúvida esta a razão pela qual tanto os historiadores como os divulgadores devotaram uma tão grande atenção aos episódios revolucionários de que resulta uma mudança de paradigma e desprezaram tão completamente o tipo de trabalho que mesmo os maiores cientistas necessariamente fazem durante a maior parte do tempo.

A minha posição ficará ainda mais clara se eu agora perguntar o que é que fica para a comunidade científica fazer quando existe um paradigma. A resposta — tendo em vista a resistência a inovações que existe e que é frequentemente escondida debaixo do tapete — é que, dado um paradigma, os cientistas esforçam-se, usando todas as suas capacidades e todos os seus conhecimentos, para o pôr cada vez mais de acordo com a natureza. Muito do seu esforço, principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento do paradigma, procura torná-lo mais preciso em áreas em que a formulação original fora, como não podia deixar de ser, vaga. Por exemplo, sendo já conhecido que a electricidade era um fluido com partículas em interacção mútua à distância, os teóricos da electricidade após Franklin podiam tentar determinar a lei quantitativa da força entre as partículas eléctricas. Outros podiam buscar as inter-relações entre o comprimento da fiação, a deflexão do electroscópio, a quantidade de electricidade e a geometria dos condutores. Foi sobre problemas desse tipo que, nas últimas décadas do século XVIII, trabalharam Coulomb, Cavendish e Volta, e encontramos um grande paralelismo com o desenvolvimento de qualquer outra ciência madura. Os actuais esforços para determinar as forças quânticas que governam as interacções dos núcleons pertencem precisamente à mesma categoria de problemas de articulação dum paradigma.

Esse tipo de problemas não constitui o único campo a conquistar que um paradigma propõe à comunidade que o aceita. Há sempre muitos outros campos onde o paradigma supostamente pode funcionar, mas em que não foi, de facto, ainda aplicado. O ajustamento da paradigma à natureza em tais casos ocupa com frequência os melhores talentos científicos duma geração. As tentativas no século XVIII de desenvolver a teoria de Newton das cordas vibrantes constituem um exemplo significativo, e os trabalhos actuais sobre a teoria quântica dos sólidos constituem outro exemplo. Além disso, existe sempre um trabalho imenso, fascinante, para melhorar o acordo num campo

onde se demonstrou já existir um certo acordo aproximado. Trabalho teórico em problemas desse tipo é ilustrado no século XVIII com a investigação das perturbações que fazem desviar os planetas das suas órbitas keplerianas e igualmente no século XIX com a elaboração duma teoria refinada dos espectros dos átomos complexos e das moléculas. E acompanhando todos esses problemas e muitos outros coloca-se toda uma série ininterrupta de barreiras experimentais. Teve de ser inventada e construída uma aparelhagem especial para permitir a determinação por Coulomb da lei da força eléctrica. Novos tipos de telescópios eram exigidos para observações que, uma vez efectuadas, iam exigir uma melhor teoria newtoniana das perturbações. O projecto e construção de aceleradores mais potentes são necessidades cuja falta se faz continuamente sentir em ligação com o esforço de articular teorias das forças nucleares mais eficazes. Esses são os tipos de trabalho em que quase todos os cientistas passam a maior parte do seu tempo^(*).

Tenho a impressão de que o resumo que fiz da investigação científica normal não precisa aqui de ser mais aprofundado, mas há dois aspectos que devem ainda ser destacados. Primeiro, todos os problemas atrás referidos dependiam de paradigmas, frequentemente de várias maneiras. Alguns deles — por exemplo, a dedução dos termos de perturbação na teoria planetária de Newton — não podiam sequer ser colocados na ausência dum paradigma apropriado. Com a passagem da teoria de Newton para a teoria relativista, alguns deles transformaram-se em problemas diferentes e ainda hoje nem todos foram resolvidos. Outros problemas — por exemplo, e tentativa de determinar a lei das forças eléctricas — podiam ser e eram, pelo menos duma forma vaga, colocados antes do aparecimento do paradigma em que acabaram por ser resolvidos. Mas, na sua forma primitiva, não podiam ser atacados com êxito.

(*) A discussão deste parágrafo e do próximo está consideravelmente desenvolvida no meu artigo (Kuhn, 1961).

Aqueles que descreviam as atracções e as repulsões eléctricas em termos de «eflúvios» tentaram medir as forças resultantes colocando um disco carregado, a uma determinada distância, por baixo do prato duma balança. Nessas condições não se conseguiu chegar a resultados consistentes susceptíveis de interpretação. A pré-condição para o sucesso acabou por ser um paradigma que reduzia a acção eléctrica a uma acção do tipo gravitacional, acção à distância entre partículas pontuais. A partir de Franklin os teóricos da electricidade passaram a pensar a acção eléctrica nesses termos; tanto Coulomb como Cavendish os tinham em vista ao conceber as suas aparelhagens. Finalmente, tanto nestes casos como em todos os outros era necessária uma adesão ao paradigma para fornecer uma motivação com sentido. Quem estaria para conceber e construir complicados aparelhos de uso altamente específico, ou quem estaria para passar meses a tentar resolver determinada equação diferencial, sem a garantia segura de que o seu esforço, se tivesse êxito, daria o fruto desejado de antemão?

Essa referência ao resultado de um projecto de investigação que é desejado de antemão leva à segunda característica importante daquilo a que chamo a investigação normal, de base paradigmática. O cientista que trabalha nela não se ajusta de modo algum à antiga imagem do cientista como um explorador ou um inventor de novas e luminosas teorias que permitam brilhantes e inesperadas previsões. Pelo contrário, em todos os problemas discutidos atrás, todo o resultado era, mesmo em pormenor, conhecido desde o início. Nenhum cientista que aceitasse o paradigma de Franklin podia duvidar da existência duma lei de atracção entre partículas minúsculas de electricidade, e era razoável supor que essa lei se poderia exprimir por uma relação algébrica simples. Alguns deles previam mesmo que teria de ser uma lei envolvendo o inverso do quadrado da distância. Nunca os físicos nem os astrónomos newtonianos duvidaram que as leis do movimento e da gravitação de Newton acabariam por reproduzir os movimentos obser-

vados da Lua e dos planetas, embora, por mais de um século, a complexidade matemática impedisse que fosse obtido um bom acordo em todos os casos. Em todos esses problemas, como na maioria dos que os cientistas abordam, o ataque não é dirigido com o fim de desvendar o desconhecido, mas de obter o conhecido. A sua fascinação é causada não pelo resultado que poderão vir a descobrir, mas pela dificuldade em conseguir o mesmo resultado. Em vez de se assemelhar a uma exploração, a investigação normal apresenta-se antes como o esforço de juntar um cubo chinês cujo aspecto final é conhecido desde o princípio.

São estas as características da investigação normal que eu tinha em vista quando, no começo deste ensaio, descrevia a pessoa envolvida nela como um solucionador de *puzzles*, à maneira dum jogador de xadrez. O paradigma que ele adquiriu graças a uma preparação prévia fornece-lhe as regras do jogo, descreve as peças com que se deve jogar e indica o objectivo que se pretende alcançar. A sua tarefa consiste em manipular as peças segundo as regras, de maneira a que seja alcançado o objectivo em vista. Se ele falha, como acontece com a maioria dos cientistas, pelo menos na primeira tentativa de atacar um problema, esse fracasso só revela a sua falta de habilidade. As regras fornecidas pelo paradigma não podem então ser postas em causa, uma vez que sem essas regras começaria por não haver *puzzle* para resolver. Não haja portanto dúvidas de que os problemas (ou *puzzles*), pelos quais o praticante da ciência madura normalmente se interessa, pressupõem a adesão profunda a um paradigma. É uma sorte que essa adesão não seja abandonada com facilidade. A experiência mostra que, em quase todos os casos, os esforços repetidos, quer do indivíduo quer do grupo profissional, acabam finalmente por produzir, dentro do âmbito do paradigma, uma solução, mesmo para os problemas mais difíceis. Esta é uma das maneiras como a ciência avança. Nessas condições será de nos surpreen-

dermos com a resistência dos cientistas à mudança de paradigmas? O que eles defendem é, no fim de contas, nem mais nem menos do que a base do seu modo de vida profissional.

Chegando aqui, uma das principais vantagens do que comecei por chamar o dogmatismo científico deve ser evidente. Como uma rápida vista de olhos a qualquer história natural baconiana, ou à descrição do desenvolvimento pré-paradigmático de qualquer ciência mostra, a natureza é demasiado complexa para ser explorada ao acaso, mesmo de maneira aproximada. Tem que existir algo que diga ao cientista onde procurar e por que procurar, e esse algo, que pode muito bem não durar mais que essa geração, é o paradigma que lhe foi fornecido pela sua educação de cientista. Em virtude desse paradigma e da necessária confiança nele, o cientista deixa em grande parte de ser um explorador, ou pelo menos de ser um explorador do desconhecido. Em vez disso, ele luta por articular e concretizar o conhecido, e esse objectivo específico leva-o a conceber diversos aparelhos e variadas versões da teoria. E nesses *puzzles* que o levam a projectar e a adaptar que ele encontra o seu prazer. A menos que tenha uma sorte extraordinária, é do êxito em resolver ou *puzzles* que irá depender a sua reputação. A tarefa em que ele está empenhado caracteriza-se, a dada altura, e inevitavelmente, por uma visão drasticamente reduzida. Mas dentro do campo para que está focada a sua visão, o esforço continuado para ajustar os paradigmas à natureza produz um conhecimento e uma compreensão de pormenores esotéricos que não poderiam ter sido alcançados de nenhuma outra maneira. Desde Copérnico e o problema da precessão a Einstein e o efeito fotoeléctrico, o progresso da ciência tem sempre dependido precisamente desse aspecto esotérico. Uma das grandes virtudes da adesão a paradigmas consiste em que ela liberta os cientistas de modo a que eles se possam ocupar com os pequenos *puzzles*.

Porém, essa imagem da investigação científica como resolução de *puzzles* ou ajustamento de paradigmas acaba

por ser, em última análise, bastante incompleta. Embora o cientista possa não ser um explorador, os cientistas estão sempre descobrindo novos e inesperados tipos de fenómenos. Embora o cientista não se esforce normalmente por inventar novos tipos de teorias fundamentais, tais teorias têm surgido com frequência da prática continuada da investigação. Mas nenhuma inovação desse género apareceria se a actividade a que chamei de ciência normal tivesse sempre êxito. De facto, é frequente o indivíduo envolvido na solução de *puzzles* oferecer resistência às novidades que se apresentam, e fá-lo por razões muito aceitáveis. Para ele trata-se de alterar as regras do jogo e qualquer alteração de regras é intrinsecamente subversiva. Esse elemento subversivo torna-se, evidentemente, mais aparente em inovações teóricas de grande importância como as associadas aos nomes de Copérnico, Lavoisier ou Einstein. Mas a descoberta dum fenómeno não antevisto pode ter o mesmo efeito destrutivo, embora geralmente num grupo mais reduzido e por um período de tempo mais curto. Uma vez realizada a primeira das experiências, o *écran* luminoso de Röntgen demonstrava que a anterior aparelhagem *standard* de raios catódicos se comportava de uma maneira que ninguém tinha antevisto. Havia uma variável não-prevista a ser controlada; as investigações anteriores, já a caminho de se constituírem em paradigmas, necessitavam de ser reavaliadas; velhos *puzzles* tinham de ser resolvidos de novo, recorrendo-se a um conjunto de regras algo diferente. Mesmo sendo facilmente assimilável, uma descoberta como a dos raios X pode violar um paradigma que previamente orientara a investigação. O que implica que, se a actividade normal de solucionar *puzzles* tivesse sempre êxito, o desenvolvimento da ciência não poderia conduzir a qualquer tipo de inovação fundamental.

Mas é claro que a ciência normal nem sempre tem êxito e ao reconhecer esse facto deparamos com a segunda grande vantagem da investigação de base paradigmática. Ao contrário de muitos dos antigos teóricos da electrici-

dade, o praticante duma ciência madura sabe com precisão razoável a que tipo de resultado pode chegar com a sua investigação. Está, pois, numa posição especialmente favorável para detectar um problema de investigação que saia fora do esperado. Por exemplo, como Galvani ou Röntgen, ele pode deparar com um efeito que sabe não ter razão para ocorrer. Ou, por exemplo, como Copérnico, Planck ou Einstein, pode concluir que os fracassos repetidos dos seus antecessores, ao ajustar o paradigma à natureza, decorre da evidente necessidade de mudar as regras com que se tenta fazer esse ajustamento. Ou, por exemplo, como Franklin ou Lavoisier, pode concluir depois de repetidas tentativas que nenhuma das teorias existentes pode ser articulada de forma a explicar determinado efeito recentemente descoberto. Como se vê por esses exemplos e por muitos outros, a prática científica normal de solucionar *puzzles* pode levar, e leva de facto, ao reconhecimento e isolamento de uma anomalia. Um reconhecimento dessa natureza é, penso eu, pré-condição para quase todas as descobertas de novos tipos de fenómenos e para todas as inovações fundamentais da teoria científica. Depois de um primeiro paradigma ter sido alcançado, uma quebra nas regras do jogo pré-estabelecido é o prelúdio habitual para uma inovação científica importante.

Comecemos por ver o caso das descobertas. Muitas delas, como a lei de Coulomb ou a descoberta de um novo elemento para preencher um espaço vazio no quadro periódico, não levantam dificuldades. Não levam a «novos tipos de fenómenos», são descobertas antecipadas graças a um paradigma e obtidas por experientes solucionadores de *puzzles*: essa espécie de descobertas é um produto natural do que passei a chamar de ciência normal. Mas nem todas as descobertas pertencem a essa categoria; muitas delas não poderiam ter sido antecipadas por extrapolação do conhecido; tinham, de certa maneira, de ocorrer «por acidente». Por outro lado, o acidente donde elas surgiram não poderia ter ocorrido a uma pessoa qualquer que simplesmente passasse na ocasião. Nas ciências maduras a

descoberta requer equipamento muito especializado, tanto do ponto de vista da concepção como instrumental, e esse equipamento especializado tem vindo a ser constantemente desenvolvido e aplicado com o fim de resolver os *puzzles* da investigação normal. A descoberta aparece quando esse equipamento deixa de funcionar da forma como deveria. Além disso, como falhas temporárias de várias espécies ocorrem em quase todos os projectos de investigação, a descoberta surge só quando o fracasso é particularmente persistente ou espectacular ou quando pareça pôr em questão convicções, e maneiras de proceder aceites. Os paradigmas estabelecidos são portanto muitas vezes duplamente pré-condições para descobertas. Sem eles o projecto que sai fora do esperado nunca poderia ter sido iniciado. E mesmo depois de o projecto ter saído fora do esperado, como acontece com a maior parte deles durante algum tempo, o paradigma pode ajudar a determinar se o fracasso justifica ou não a continuação da investigação. A resposta normal e adequada a um fracasso na resolução de *puzzles* consiste em lançar a culpa nos talentos ou aparelhos de alguém e mudar a seguir para outro problema. Se não quer perder tempo, o cientista deve ser capaz de discernir entre uma anomalia essencial e um fracasso accidental.

Esse esquema — descoberta graças a uma anomalia que põe em dúvida convicções e técnicas estabelecidas — tem vindo a ser sempre repetido ao longo do desenvolvimento científico. Newton descobriu a composição da luz branca por não ser capaz de reconciliar a dispersão observada com a dispersão prevista pela então recente lei de Snell da refração (ver Kuhn, 1958). A bateria eléctrica foi descoberta quando os detectores de cargas estáticas então existentes deixaram de se comportar como o paradigma de Franklin fazia prever (ver Galvani, 1954). O planeta Neptuno foi descoberto em virtude do esforço desenvolvido para explicar as anomalias na órbita de Urano (ver Armitage, 1950). O elemento cloro e o composto monóxido de carbono surgiram com as tentativas de

reconciliar a nova Química de Lavoisier com as observações de laboratório⁽⁹⁾. Os chamados gases nobres foram o produto duma longa série de investigações originadas na presença duma pequena, mas persistente, anomalia na medição da densidade do azoto atmosférico (Ver Ramsay, 1896). O electrão foi introduzido para explicar algumas propriedades anómalas da condução de electricidade através dos gases, e o seu spin foi sugerido para esclarecer anomalias doutro tipo observadas no espectro atómico (Ver Thomson, 1937; Chalmers, 1949; Richtmeyer, Kennard e Lauritsen, 1955; e R. D. Rusk, 1958). Nas ciências maduras as inovações inesperadas são descobertas principalmente depois de algo ter corrido mal.

Porém, se uma anomalia é significativa na preparação do caminho para novas descobertas, ela tem um papel ainda mais importante na invenção de novas teorias. Consequentemente a uma convicção estabelecida, embora não universal, as novas teorias não são inventadas para explicar observações que não tinham antes sido ordenadas por nenhuma outra teoria. Pelo contrário, e praticamente em qualquer época do desenvolvimento duma ciência avançada, todos os factos cuja relevância é aceite se apresentam como ajustando-se bem à teoria existente ou estando em via de se ajustar. O processo para os fazer ajustar-se melhor dá origem a muitos dos problemas *standard* da ciência normal. E há, quase sempre, cientistas convictos que conseguem resolvê-los. Porém nem sempre conseguem, e quando falham repetidas vezes e cada vez mais, então o seu sector da comunidade científica depara com o que alguns chamei de «crise». Ao reconhecer que algo está fundamentalmente errado na teoria com que trabalham, os cientistas tentarão articulações mais fundamentais da teoria do que as que eram admitidas antes. (É típico, nos tempos de crise, encontrar numerosas versões diferentes

da teoria paradigmática⁽¹⁰⁾. Ao mesmo tempo, irão começar mais ou menos ao acaso experiências na zona da dificuldade, na esperança de descobrir algum efeito que sugira a maneira de pôr a situação a claro. É só em situações desse género que, penso eu, uma inovação fundamental na teoria científica é, não só inventada, mas aceite.

O estado da Astronomia de Ptolomeu era, por exemplo, uma catástrofe reconhecida por toda a gente antes de Copérnico propor uma mudança de base na teoria astronómica, e o prefácio onde Copérnico apresenta as suas razões para inovar constitui uma descrição clássica duma situação de crise (Ver Kuhn, 1957). As contribuições de Galileu para o estudo do movimento tomaram por ponto de partida dificuldades bem conhecidas da teoria medieval, e Newton reconciliou a mecânica de Galileu com a teoria copernicana⁽¹¹⁾. A nova Química de Lavoisier era um produto das anomalias criadas simultaneamente com a proliferação de novos gases e os primeiros estudos sistematizados das relações entre os pesos⁽¹²⁾. A teoria ondulatória da luz foi desenvolvida num ambiente de crescente desconforto devido às anomalias surgidas nos efeitos de

(10) Um exemplo clássico (Ver Kuhn, 1957) é a proliferação de sistemas astronómicos geocêntricos anos antes da reforma heliocêntrica de Copérnico. Outro (Ver Partington e Makie, 1937, 1938 e 1939) é a multiplicidade de «teorias do flogístico» produzidas em resposta ao reconhecimento geral que o peso aumenta sempre na combustão e à descoberta experimental de muitos gases novos depois de 1670. A mesma proliferação de versões de teorias aceites ocorre na mecânica e também no electromagnetismo nas duas décadas que precederam a teoria especial da relatividade de Einstein (Ver Whittaker, 1951-53, vol. 1, cap. 12, e vol. 2, cap. 2). Partilho da opinião generalizada de que nesta obra se dá uma descrição muito precocemente do aparecimento da teoria da relatividade, mas ela contém precisamente os pormenores para ilustrar o ponto a que me refiro aqui.

(11) Ver para o caso de Galileu, Koyré (1939); para o caso de Newton, Ver Kuhn (1957).

(12) Sobre a proliferação dos gases, Ver Partington (1948, cap. 6); sobre o papel das relações entre os pesos, Ver Guerlac (1959).

(9) No caso do cloro, Ver Meyer (1891). No caso do monóxido de carbono, Ver Kopp (1845).

difração e polarização para a teoria corpuscular de Newton (ver Whittaker, 1951-3, vol. 2; Whewell, 1847, vol. 2, e Kuhn, 1961). A termodinâmica, que depois veio a aparecer como uma superestrutura para as ciências existentes, só foi estabelecida à custa da rejeição das anteriores teorias paradigmáticas do calórico⁽¹²⁾. A mecânica quântica nasceu de uma série de dificuldades que envolviam a radiação do corpo negro, o calor específico e o efeito fotoelétrico (ver Richtmeyer *et al.*; Holton, 1953). De novo a lista podia ser alargada, mas a questão que interessa já deve estar bem clara. As novas teorias surgem do trabalho conduzido de acordo com as velhas teorias, e isso só acontece quando se observa alguma coisa que não está a correr bem. O prelúdio ao seu aparecimento é uma anomalia amplamente conhecida, e tal conhecimento só pode existir num grupo que sabe muito bem o que significaria terem as coisas seguido o caminho certo.

As limitações de espaço e de tempo forçam-me a parar aqui, a minha exposição sobre o dogmatismo tem de ficar esquemática. Não tentarei sequer tratar aqui da fina estrutura que o desenvolvimento científico apresenta sempre. Mas há outra consequência da minha tese que exige um comentário final. Embora a investigação susceptível de ter êxito exija uma adesão profunda ao *status quo*, a inovação continua a ocupar uma posição central. Os cientistas são *treinados* para funcionar como solucionadores de *puzzles* dentro de regras estabelecidas, mas são também *ensinados* a considerar-se eles próprios como exploradores e inventores que não conhecem outras regras além das ditas pela natureza. O resultado é a aquisição dum a tensão, em parte ao nível da comunidade, entre as habilitações pro-

(12) Para um tratamento geral dos começos da termodinâmica (incluindo bastante bibliografia importante), ver Kuhn, 1959b. Sobre os problemas específicos colocados aos teóricos do calórico pela conservação da energia, ver os artigos de Carnot, citados nesta referência e também em Thompson (1910, cap. 6).

fissionais de um lado e a ideologia profissional do outro. É quase certo que a tensão e a capacidade de a manter são elementos importantes para o êxito da ciência. Como tratei exclusivamente da dependência da investigação face à tradição, a minha discussão é inevitavelmente unilateral. Em todas essas questões há muito mais para ser dito.

Mas ser unilateral não significa necessariamente estar errado, e pode mesmo ser uma atitude preliminar essencial antes de se fazer um exame mais penetrante das condições necessárias para uma vida científica com êxito. Não *ensino* nada a ninguém ao dizer que a vitalidade da ciência depende da continuidade nas inovações que abalem as tradições. Mas, aparentemente em conflito, dá-se pouca atenção à dependência da investigação face à profunda adesão a instrumentalidades e convicções estabelecidas. Procuo que lhe seja dada mais atenção. Até lá, algumas das mais importantes características da educação científica e do desenvolvimento da ciência continuarão a ser extremamente difíceis de compreender (*).

BIBLIOGRAFIA

- ARMITAGE, A. (1960), *A century of Astronomy*, Sampson Low.
BARBER, B. (1961), «Resistance by scientists to scientific discovery», *Science*, n.º 84, pp. 596-622.
CHALMERS, T. W. (1949), *Historic Researches, Chapters in the History of Physical and Chemical Discovery*, Morgan Bros., Londres.
COHEN, I. B. (1941) (org.), *Benjamin Franklin's Experiments: A New Edition of Franklin's Experiments and Observations on Electricity*, Cambridge, Mass.
— (1952), «Orthodoxy and scientific progress», *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 96, pp. 505-12.
— (1956), *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*, Harvard University Press.
DELAMBERE, J. H. B. (1816). (p. 353) elege, *Mémoire de... Titut. année 1816*, parte 2, p. 46.

(*) Texto extraído de *Scientific Change*, A. C. Crombie, Org. Heineman, 1953.

- DESAGULIERS, J. T. (1741), (p. 356), «Some charged bodies will attract each other», *Philosophical Transactions*, n.º 42, pp. 140-3.
- DU FAY (1735), «De l'attraction et repulsion des corps électriques», *Mémoires de... l'Académie... de l'année 1733*, Paris, pp. 457-760.
- GALVANI, L. (1954), *Commentary on the Effects of Electricity on Muscular Motion*, trad. inglesa de M. G. Foley (notas e introdução de I. E. Cohen), Nowalk, Conn.
- GUERLAC, H. (1959), «The origin of Lavoisier's work on combustion», *Archives internationales d'histoire des sciences*, n.º 12, pp. 113-35.
- HOLTON, G. (1953), *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science*, Addison-Wesley.
- KOPP, H. (1945), *Geschichte der Chemie*, Braunschweig.
- KOYRE, A. (1939), *Études Galiléennes* (3 vols.), Paris.
- KUHN, T. S. (1957), *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, Harvard University Press.
- (1958), «Newton's optical papers», em I. B. COHEN (org.), *Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy*, Cambridge, Mass.
- (1959a), «The essential tension, tradition and innovation scientific research», em C. W. TAYLOR (org.), *The Third (1959) University of Utah Conference on the Identification of Creative Scientific Talent*, Salt Lake City.
- (1959b), «Energy conservation as an example of simultaneous discovery, em M. CLAGETT (org.), *Critical Problems in the History of Science*, pp. 321-56, Madison.
- (1961), «The function of measurement in modern physical science», *Isis*, n.º 52, pp. 161-93.
- (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press.
- MASON, S. F. (1956), *Main Currents of Scientific Thought*, New York. (Ed. rev., 1966, como *History of the Sciences*, Collier Macmillan.)
- MEYER, E. VON (1891), *A History of Chemistry from the Earliest Time to the Present Day*, trad. ingl. de G. MCGOWAN, Londres.
- NEEDHAM, H. J. T. (1746), *Relatório das Investigações de Lomonier*, *Philosophical Transactions*, n.º 94, p. 247.
- PARTINGTON, J. R. (1948), *A Short History of Chemistry*, Londres, 2.ª ed. (prov. Macmillan).
- PARTINGTON, J. R., e MCKIE, D. (1937, 1938, 1939), «Historical studies of the phlogiston theory», *Annals of Science*, vols. 2, 3, 4.
- PLANCK, M. (1943), *Wissenschaftliche Selbstbiographie*, Leipzig.
- POLANYI, M. (1951), *The Logic of Liberty*, Routledge & Kegan Paul.
- (1958), *Personal Knowledge*, University of Chicago Press.
- RAMSAY, W. (1896), *The Gases of the Atmosphere: The History of their Discovery*, Macmillan.
- RICHTMEYER, F. K., et al. (1953), *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science*, Cambridge, Mass.
- RICHTMEYER, F. K., KENNARD, E. H., LAURITSEN, T. (1955), *Introduction to Modern Physics*, McGraw-Hill, 5.ª ed.
- ROLLER, D., e SOLLER, D. H. D. (1954), *The Development of the Concept of Electric Charge: Electricity from the Greeks to Coulomb*, Harvard Case Histories in Experimental Science, n.º 8, Harvard University Press.
- RUSK, R. D. (1958), *Introduction to Atomic and Nuclear Physics*, Appleton-Century Crofts.
- THOMPSON, S. P. (1910), *The Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs* (2 vols.), Macmillan.
- THOMSON, J. J. (1937), *Recollections and Reflections*, Bell.
- WHEWELL, W. (1847), *History of the Inductive Sciences*, Parker, ed. rev.
- WHITTAKER, E. T. (1951-53), *History of the Theories of Aether and Electricity*, Nelson, 2.ª ed.