

## 2 - A FUNÇÃO DO DOGMA NA INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA \*, \*\*

**T. S. KUHN**

Estou certo de que cada um dos participantes deste simpósio se expôs, a dada altura de sua carreira, à idéia 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 fatos crus, objetivos, e que é fiel a tais fatos e só a eles. Estas são as características que fazem do testemunho dos cientistas um valioso elemento na propaganda de produtos variados e em exclusivo nos Estados Unidos. Mesmo perante uma audiência internacional não é preciso esclarecer mais. Ser científico é, entre outras coisas, ser objetivo e ter espírito aberto.

Provavelmente nenhum de nós acredita que o cientista da vida real na prática consegue preencher tal ideal.

\* Referência: do livro *Scientific Change*, A. C. CROMBIE, org., Heinemann, 1953. Reproduzido com autorização da Editora Heinemann Educational Books Ltd.

\*\* As idéias desenvolvidas neste artigo foram extraídas, numa forma drasticamente condensada, do primeiro terço da minha monografia (Kuhn, 1962). Algumas delas foram também parcialmente desenvolvidas num ensaio anterior (KUHN, 1959a).

Sobre o assunto consultar também COHEN (1952) e BARBER (1961). Agradeço a BARBER o envio da cópia desse útil artigo. Acima de tudo, os interessados com a importância de tomadas de posição quase dogmáticas como uma necessidade para uma investigação científica produtiva deverão consultar as obras de POLANYI, em particular (1958) e (1951). A discussão que aparece neste artigo mostra que POLANYI e eu divergimos de algum modo quanto às tomadas de posição dos cientistas, mas isso não deve esbater a larga margem de concordância nas questões discutidas explicitamente no que se segue.

A experiência pessoal, as novelas de Sir CHARLES SNOW ou o estudo da história da ciência fornecem numerosos desmentidos. Embora a atividade científica possa ter um espírito aberto, e não precisando o sentido em que tomar esta frase, o cientista individual muito freqüentemente não o tem. Quer o seu trabalho seja predominantemente teórico, quer seja experimental, o cientista normalmente parece conhecer, antes do projeto de investigação estar razoavelmente avançado, pormenores dos resultados que se vão alcançar com tal projeto. Se o resultado aparece depressa, ótimo. Se não, ele lutará com os seus instrumentos e com as suas equações até que, se 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 trabalho de investigação que o cientista mostra a sua convicção firme relativamente aos fenômenos que a natureza lhe apresenta e relativamente à maneira como podem ser encaixadas na teoria. Com freqüência, as mesmas convicções evidenciam-se mais claramente ainda nas reações 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 fatos e nas teorias têm, o que é significativo, encontrado resistências e com freqüência têm sido rejeitadas por muitos membros, dos mais criativos, da comunidade profissional científica. O historiador, pelo menos este, de fato não precisa que seja PLANCK a lembrar-lhe que : "Uma verdade científica nova não é geralmente apresentada de maneira a convencer os que se opõem a ela... simplesmente a pouco e pouco eles morrem, e nova geração que se forma familiariza-se com a verdade desde o princípio" (PLANCK, 1948).

Fatos familiares como estes - e eles poderiam facilmente ser multiplicados - não parece ser reveladores duma atividade cujos praticantes sejam pessoas de espírito especialmente aberto. Poderão esses fatos 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 fato de que tais resistências e preconceitos eram geralmente considerados como elementos estranhos à ciência. Esses fatos aberrantes seriam, é o que nos têm

ensinado muitas vezes, não mais do que 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 estatuto de anedotas e justamente com este ensaio tenta-se atacar tal ponto de vista. A verossimilhança, por si só, sugere que se impõe um ataque desse tipo. Preconceito e resistência parecem ser mais a regra do que a exceção no desenvolvimento científico avançado. Além disso, em condições normais eles caracterizam a melhor investigação e a mais criativa e também a mais rotineira. Não está também em questão 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 freqüentemente aparecem como precondições para o sucesso das ciências.

É claro que estou a adiantar-me demais na minha história, mas com isso fiz destacar 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 coletivamente, eu classifico 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 fundamental, em dois aspectos, para a investigação produtiva. Definindo para cada cientista individual os problemas suscetíveis de ser analisados e ao mesmo tempo a natureza das soluções aceitáveis para eles, a adesão é de fato 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 ausência delas, ele não seria um físico, um químico ou o que quer que fosse aquilo para que fora preparado.

Além do mais, essa adesão tem um segundo papel na investigação que é algo 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 fatos e nas teorias. Nas ciências a maior parte das descobertas de fatos 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 atividade humana mais consistentemente revolucionária. Uma pessoa não precisa de fazer da resistência ou do dogma uma virtude para reconhecer que as ciências maduras não poderiam viver sem eles.

Antes de continuar a examinar a natureza e as conseqüências do dogma científico, vejamos o esquema de educação através do qual ele é transmitido por uma geração de profissionais à seguinte. Os cientistas não formam, claro está, a única comunidade profissional que adquire pela educação um conjunto de padrões, instrumentos e técnicas que mais tarde usam no seu próprio trabalho criativo. Porém uma vista rápida que seja da pedagogia científica sugere que ela pode induzir uma rigidez profissional praticamente impossível de alcançar noutros campos, exceto talvez 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 visíveis igualmente nas devidas proporções na educação européia e britânica.

Talvez que a característica mais extraordinária da educação científica, característica que é levada a um ponto desconhecido noutros campos de atividade criativa, seja a de se fazer, através de 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, ra-

ramente é posto ante o problema de conduzir um projeto de investigação, ou colocado ante os produtos diretos da investigação conduzida por outros - isto é, as comunicações profissionais que os cientistas escrevem para os seus colegas. As coleções de "textos originais" jogam 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.<sup>1</sup> WHITEHEAD apanhou esse aspecto bastante específico das ciências quando algures escreveu: "Uma ciência que hesita em esquecer os seus fundadores está perdida."

O ser baseada quase exclusivamente em manuais não é tudo o que há de específico na educação científica. Os estudantes de outros domínios são, ao fim e ao cabo, também expostos à ação de tais livros, embora raramente depois do segundo ano de universidade, e mesmo nos primeiros anos, não de uma forma tão 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 ser adotados num mesmo curso científico diferem sobretudo só no nível de apresentação e nos pormenores pedagógicos e não no conteúdo ou no conjunto das idéias. É com dificuldade que se pode imaginar um físico ou um químico afirmar que foi obrigado a começar a educação dos seus alunos de 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 consistentemente a idéia que ele tinha da disciplina. Observações desse tipo não são, pelo contrário, pouco usuais em várias Ciências Sociais. Aparentemente os cien-

<sup>1</sup> 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.

tistas 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 duma combinação eclética de originais de investigação.

Igualmente a técnica de apresentação dos assuntos, característica dos manuais científicos, não é a mesma que nos outros campos. Exceto 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 *diversidade* 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, quer usando um lápis e papel quer servindo-se dum laboratório, que 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". E estes são justamente os campos em que o objeto da instrução é produzir com o máximo de rapidez "quadros mentais" fortes ou *Einstellungen*. Sugiro que nas ciências o efeito dessas técnicas é exatamente 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 preestabelecida 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 (exceto talvez a Matemática elementar) até o começo do século XIX. Mas antes dessa época já um certo número de ciências mais desenvolvidas claramente evidenciava, e em certos casos desde há já bastante tempo, as características especiais indicadas acima. Onde não existiam manuais, havia com freqüência paradigmas universais aceitos 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 *Alma gesta* de PTOLOMEU, os *Principia* e a *Opticks* de NEWTON, a *Eletricidade* 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 segundo o modelo iniciado por eles, teve no seu domínio mais ou menos a mesma função que têm hoje os manuais duma ciência.

Todas as obras indicadas acima são, como é sabido, clássicos da ciência. Assim sendo, poder-se-ia pensar que elas se assemelham aos grandes clássicos noutros campos Criativos, um REMBRANDT, ou 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 de criação.

Parte desse "algo especial" é o que chamarei a exclusividade dos paradigmas. Em qualquer época os praticantes duma dada especialidade poderão reconhecer numerosos clássicos, alguns dos quais - tal como acontece com as obras de PTOLOMEU e COPÉRNICO ou NEWTON e DESCARTES - 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 exclusivamente aos académicos. Nas ciências maduras parece não existir uma função equivalente à de um museu de arte ou uma biblioteca de clássicos. Os cientistas sabem quando é que os livros, e mesmo os jornais científicos, estão ultrapassados. Embora não os destruam, eles os transferem, como

qualquer historiador da ciência pode testemunhar, das bibliotecas ativas da especialidade para o nunca usado depósito geral da universidade. As obras atualizadas 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 fato, de uma vez para sempre. Tal 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."<sup>2</sup> Os exemplos, quer de ARISTÓTELES, quer 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 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 que se assemelhe 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 paradigma como, por exemplo, a Filosofia ou a Literatura. O mesmo objetivo pode porém ser alcançado de maneira mais econômica, contrastando-se o esquema de desenvolvimento inicial de qualquer ciência com o esquema característico da mesma ciência quando já na maturidade. Não consigo

<sup>2</sup> Referido nesta forma por MASON (1956). O original, que é semelhante em espírito, mas não nas palavras, parece provir dum elogio da época feito por DELAMBRE (1816).

deixar de pôr a questão demasiado esquemática, mas o que tenho em vista é isto. Exceto em domínios como a Bioquímica, com 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, pelo menos não de forma tão inequívoca e limitadora como nos casos referidos atrás. A óptica física antes de NEWTON ou o estudo do calor antes de BLACK e LAVO= R são exemplos de esquemas de desenvolvimento pré-paradigmáticos como o que examinei adiante com a história da eletricidade. 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 pós-paradigma, consideremos um exemplo simples. No começo do século XVIII, como no século XVII e antes dele, havia quase tantos pontos de vista sobre a natureza da eletricidade como o número de experimentadores importantes, homens como HAUKS BEE, GRAY, DESAGULIERS, DU FAY, NOLLET, WATSON e FRANKLIN. Todos os diversos conceitos que eles possuíam sobre a eletricidade tinham qualquer coisa em comum - tinham em parte origem nas experiências e observações e também numa ou noutra das versões da Filosofia mecânico-corpúscular que orientava toda a investigação científica da época. Contudo, esses elementos comuns davam aos seus trabalhos só uma vaga semelhança. Somos forçados a admitir a existência de várias escolas e subescolas em competição, cada uma indo buscar a sua força à sua ligação a uma versão particular (cartesiana ou newtoniana) da metafísica corpúscular, e cada uma dando relevo especial ao conjunto de fenômenos elétricos mais facilmente explicado por ela. As outras observações eram explicadas usando construções *ad hoc* ou eram deixadas como problemas importantes para investigação futura.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Bastante documentação sobre a história do desenvolvimento da eletricidade pode encontrar-se a partir de ROLLEA e ROLLER (1956). No que respeita a análises de pormenor, porém, devo muito a um

Um dos primeiros grupos de teóricos da eletricidade seguia a prática usual do século XVII, e tomava portanto a atração e geração de eletricidade por fricção como os fenômenos elétricos fundamentais. Tinham tendência a considerar a repulsão como um efeito secundário (no século XVII ela era explicada por uma espécie de efeito de ressalto 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 elétrica. Outro grupo estreitamente ligado a este considerava a repulsão como o efeito fundamental, enquanto outro ainda tomava ao mesmo tempo a repulsão e a atração como manifestações elementares da eletricidade. 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 eletricidade como dum "fluido", percorrendo os condutores e não como um "eflúvio" emanado dos corpos não-condutores. Esse grupo, por sua vez, tinha dificuldade em reconciliar a sua teoria com um número razoável de efeitos de atração e repulsão.<sup>4</sup>

Em épocas diferentes, cada uma dessas escolas trouxe contribuições significativas para o corpo de conceitos, fenômenos e técnicas de onde FRANKLIN extraiu o primeiro paradigma para as ciências elétricas. Uma definição de cientista que exclua os membros dessas escolas deverá excluir igualmente os seus sucessores modernos. Contudo, alguém que se debruce sobre o desenvolvimento da

artigo ainda não publicado (1963) do meu aluno John L. Heilbron, que me auxiliou nas três notas que aparecem no seguimento.

<sup>4</sup> Esta divisão em escolas é ainda de algum modo simplista. Depois de 1720 a divisão fundamental faz-se entre a escola francesa (Du FAY, NOLLET etc.), que baseava a sua teoria em efeitos de atração-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 fenômenos que o outro tomava como básicos. (Ver, por exemplo, o trabalho de NEEDHAM sobre as investigações de LEMONIER (1746).) Dentro de cada um dos grupos, e em particular no inglês, é possível distinguir mais subdivisões dependendo da consideração, quer da atração, quer da repulsão, como efeito elétrico de maior importância.

eletricidade antes de FRANKLIN pode muito bem tirar a conclusão de que, embora os praticantes no ofício fossem cientistas, o resultado imediato da sua atividade era algo menos do que ciência. Cada experimentador em eletricidade 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 escolha de experiências e observações fundamentais era relativamente livre, porque o conjunto de métodos, padrão e fenômenos que cada teórico da eletricidade podia utilizar e explicar era extraordinariamente reduzido. Como conseqüência, durante a primeira metade do século, as investigações em eletricidade tendiam a andar em circulo, voltando sempre ao mesmo ponto. Novos efeitos eram descobertos 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 eletricidade. 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.<sup>5</sup> Na ausência duma teoria bem articulada e amplamente aceita (uma propriedade que nenhuma ciência possui de início e que poucas das Ciências Sociais, se é que alguma, possuem atualmente), a situação só muito dificilmente podia ter sido diferente. Para os teóricos da eletricidade, durante a primeira metade do século XVIII não havia maneira de distinguir consistentemente entre efeitos elétricos e não-elétricos, entre acidentes de laboratório e novidades essenciais, ou

<sup>5</sup> A descoberta de Du FAY das duas espécies de eletricidade que se atraíam uma à outra, mas se auto-repeliavam, é descrita e documentada com bastante pormenor na quarta parte das suas famosas memórias sobre eletricidade (1785). Tais memórias eram bem conhecidas e muitas vezes citadas, porém DESAGULIERS (1741) parece ter sido o único teórico da eletricidade que, durante um período de quase duas décadas, chega a dizer que alguns corpos carregados eletricamente se atraem uns aos outros. No que respeita à "surpresa" de FRANKLIN e KINNERSLEY, ver COHEN (1941). É de notar também que, embora KINNERBLEY tenha produzido o efeito, nem ele nem FRANKLIN parece terem reconhecido que dois corpos resinosos carregados se repeliam um ao outro, um fenómeno diretamente em con-tradição com a teoria de FRANKLIN.

entre exibições brilhantes e experiências que revelassem aspectos essenciais da natureza da eletricidade.

Esta é a situação que FRANKLIN mudou.<sup>6</sup> A sua teoria explicava tantos - embora não todos - efeitos elétricos reconhecidos pelas várias escolas anteriores que no período de uma geração todos os teóricos da eletricidade 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 eletricidade e a experiência dele dá um tom e um sabor novo às investigações em eletricidade nas últimas décadas do século XVIII. O fim dos debates interescolas pôs fim à constante reavaliação dos fundamentos; a convocação de estarem a seguir o caminho correto dava coragem aos teóricos da eletricidade para se lançarem em trabalhos de maior envergadura, mais exatos e exotéricos. Liberto das preocupações gerais levantadas com os fenômenos elétricos, o novo grupo agora unido podia orientar-se para fenômenos elétricos selecionados e estudá-los com muito mais pormenor, concebendo aparelhagem especializada para seu trabalho e utilizando-a com uma persistência e um grau de sistematização desconhecidas dos anteriores teóricos da eletricidade. Nas mãos dum CAVENDISH, dum COULOMB Ou dum VOLTA, a verificação dos fenômenos elétricos e a articulação da teoria da eletricidade tornaram-se, pela primeira vez, atividades altamente orientadas. Como consequência, a eficiência e a eficácia da investigação em eletricidade aumentaram extraordinariamente, comprovando ao nível social o preceito metodológico de FRANCIS

<sup>6</sup> A mudança não se deve, é claro, somente a FRANKLIN, nem ocorreu dum dia para o outro. Outros teóricos da eletricidade, muito em especial WILLIAM WATSON, anteciparam 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 de tipo "um fluido" de FRANKLIN-AEPINUS e a de tipo "dois fluidos" devida principalmente a SYMMER. Os teóricos da eletricidade 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 fazer sentido devido a originares diferenças de vez em quando, no projeto ou análise das experiências, as duas teorias eram equivalentes.

BACON : "A verdade emerge mais rapidamente a partir do erro do que, da confusão."

Está claro que estou exagerando 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 eletricidade como ciência não acompanha o desenvolvimento geral da eletricidade. Os autores sobre eletricidade durante as primeiras quatro décadas do século XVIII possuíam bastante mais informação acerca dos fenômenos elétricos do que os seus antecessores dos séculos XVI e XVII. Durante o meio século depois de 1745, muito poucos fenômenos elétricos se vieram acrescentar à lista dos já existentes. Porém, nos aspectos importantes os textos sobre eletricidade das últimas duas décadas do século pareciam mais distantes de GRAY, DU FAY e mesmo FRANKLIN do que estavam essas teorias da eletricidade do começo do século XVIII dos seus antecessores de há mais de cem anos. Durante o período de 1740 a 1780, os teóricos da eletricidade, como um grupo, alcançaram o que os astrônomos tinham conseguido na antiguidade, os estudiosos da mecânica na Idade Média, os da óptica 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 tomar os fundamentos do seu campo de atividade como bem estabelecidos e enveredar para problemas mais concretos e mais complexos.<sup>7</sup> E difícil conceber outro critério que estabeleça tão claramente o campo de atividade duma ciência.

Essas observações devem já começar a esclarecer o que é que considero ser um paradigma. E, 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 cujo completar está em aberto e que deixa toda espécie de investigação ainda por

<sup>7</sup> É de notar que este primeiro paradigma da eletricidade foi completamente eficaz só até 1800, quando a descoberta da bateria e o multiplicar dos efeitos eletroquímicos iniciaram uma revolução na teoria da eletricidade. Até que um novo paradigma aparecesse dessa revolução, a literatura sobre a eletricidade, particularmente na Inglaterra, retornou em vários aspectos ao estilo característico da primeira metade do século XVIII.

ser feita. E, por fim, é um resultado aceito 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 para a sua especial eficácia. Antes, porém, é preciso frisar um aspecto bastante importante. Embora o acolher dum paradigma pareça historicamente -uma condição para 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 fato da tradição de investigação que partia dele acabar por ser substituída por outra incompatível baseada nos trabalhos de COPÉRNICO e KEPLER. Nem *o Opticks* de NEWTON deixou de ser um paradigma para os estudantes dos fenômenos da luz no século XVIII, por ter sido depois substituído pela teoria ondulatória do éter de YOUNG e FRESNEL, um paradigma que por sua vez cedeu lugar à teoria do deslocamento eletromagnético que se constitui 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 e técnico, mas os paradigmas eles próprios 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 na tentativa de compreender a especial eficácia da investigação que a sua aceitação permite.

Pelo contrário, o historiador com frequência tem de reconhecer que com a rejeição da perspectiva proposta por dada escola pré-paradigma uma comunidade científica rejeitou o embrião de uma importante idéia científica

a que seria forçada a voltar mais tarde. Mas está longe de ser óbvio que a profissão atrasou o desenvolvimento científico com esse procedimento. Teria a mecânica quântica nascido antes, se os cientistas do século XIX mais facilmente estivessem prontos 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 é 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 fato, sugerida durante o século XVII e foi 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 aos problemas insolúveis 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 para as obras de PTOLOMEU, quer para as posições relativistas de DESCARTES, HUYGENS e LEIBNIZ, teria atrasado em vez de acelerar a revolução na Física com que começou o século XX. O avançar de paradigma em paradigma, em vez de perpetuar uma concorrência entre clássicos reconhecidos, deve ser uma característica funcional e um fato inerentes ao desenvolvimento científico maduro.

Muito do que se disse até aqui tem a intenção de indicar que - exceto 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-lhes 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 fato, 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 como um grupo possam ficar fascinadas ao ouvir descrever o espectro das partículas elementares ou os processos de réplica molecular, em regra o seu interesse rapidamente fica exausto com uma apresentação das convicções que de antemão estão na base da investigação desses problemas. O resultado do projeto 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 inesperadamente leve a mudanças nas convicções que guiam a investigação. Sem dúvida essa é a razão pela qual tanto os historiadores como os divulgadores devotaram tão grande parte de sua 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 escondida freqüentemente 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, tornando-o mais preciso em áreas em que a formulação original fora, como não podia deixar de ser, vaga. Por exemplo, conhecendo já que a eletricidade era um fluido com partículas em interação mútua à distância, os teóricos da eletricidade após FRANKLIN podiam tentar determinar a lei quantitativa da força entre as partículas elétricas. Outros podiam buscar as inter-relações entre o comprimento da fiação, deflexão do eletroscópio, a quantidade de eletricidade, 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 esforços atuais para determinar as forças quânticas que governam as interações 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 funciona, mas em que não foi, de fato, ainda aplicado. O ajustamento do paradigma à natureza em tais casos com freqüência ocupa 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 atuais sobre a teoria quântica dos sólidos constitui outro exemplo. Além disso, existe sempre trabalho imenso, fascinante a ser feito 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. Aparelhagem especial teve de ser inventada e construída para permitir a determinação de COULOMB da lei da força elétrica. Novos tipos de telescópios eram exigidos para observações que, uma vez efetuadas, iam exigir uma teoria newtoniana das perturbações melhorada. O projeto 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.<sup>8</sup>

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 referidos atrás eram dependentes de paradigma, com freqüência de várias maneiras. Alguns deles - por exemplo, a dedução dos termos de perturbação na teoria planetária de NEW-

<sup>8</sup> A discussão deste parágrafo e do próximo está consideravelmente desenvolvida no meu artigo (KUHN, 1961).

TON -- 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 nem todos foram ainda hoje resolvidos. Outros problemas - por exemplo, a tentativa de determinar a lei das forças elétricas - podiam ser e eram, pelo menos numa 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. Aqueles que descreviam as atrações e as repulsões elétricas em termos de "eflúvios" tentaram medir as forças resultantes colocando um disco carregado a uma distância determinada por baixo do prato duma balança. Nessas condições não se conseguiu chegar a resultados *consistentes* susceptíveis de interpretação. A precondição para o sucesso acabou por ser um paradigma que reduzia a ação elétrica a uma ação do tipo gravitacional, ação à distância entre partículas pontuais. A partir de FRANKLIN Os teóricos da eletricidade passaram a pensar a ação elétrica nesses termos; tanto COULOMB como CAVENDISH os tinham em vista ao conceber as suas aparelhagens. ., Finalmente, em ambos esses casos bem 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 projeto de investigação que é desejado de antemão leva à segunda característica notável daquilo a que estou agora chamando de investigação normal, de base paradigmática. O cientista que trabalha nela de modo algum se ajusta à antiga imagem do cientista como um explorador ou um inventor de novas e luminosas teorias que permitem previsões brilhantes e inesperadas. Pelo contrário, em todos os problemas discutidos atrás todo o resultado mesmo em pormenor era conhecido desde o início. Nenhum cientista que aceitasse o paradigma de FRANKLIN podia duvidar da existência duma lei de atração entre partículas minúsculas de eletricidade, e era razoável supor que essa

lei se poderia exprimir por uma relação algébrica simples. Alguns deles, mesmo, previam 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 observados 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 fascinação deles é causada não pelo resultado que poderão vir a descobrir, mas pela dificuldade em conseguir mesmo o 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 principio.

Estas são 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 objetivo que se pretende alcançar. A sua tarefa consiste em manipular as peças segundo as regras de maneira que seja alcançado o objetivo 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. E 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 devemos surpreender-nos com a resistência dos cientistas à mudança de pa-

radigmas? O que eles estão defendendo 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 chamando o dogmatismo científico deve ser evidente. Como uma vista de olhos rápida a qualquer história natural baconiana ou a descrição do desenvolvimento pré-paradigmático de qualquer ciência mostram, 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 com a sua educação de cientista. Em virtude desse paradigma e da necessária confiança nele, o cientista em grande parte deixa 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 objetivo específico leva-o a conceber diversos aparelhos e variadas versões da teoria. Desses *puzzles* que o levam a projetar e a adaptar, ele tira o seu prazer. A menos que tenha uma sorte extraordinária, é do êxito em resolver os *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 exotéricos que não poderiam ter sido alcançados de nenhuma outra maneira. Desde COPÉRNICO e o problema da precessão de EINSTEIN e o efeito fotoelétrico, o progresso da ciência tem sempre dependido precisamente desse aspecto exotérico. Uma das grandes virtudes da adesão a paradigmas consiste em que ela liberta os cientistas para que se possam ocupar com os pequenos *puzzles*.

Porém, essa imagem da investigação científica como resolução de *puzzles* ou ajustamento de paradigmas deve estar, em última análise, bastante incompleta. Embora o cientista possa não ser um explorador, os cientistas estão sempre descobrindo tipos novos e inesperados de fenômenos. Embora o cientista não se esforce normalmente por inventar novos tipos de teorias fundamentais, tais

teorias com freqüência têm surgido da prática continuada da investigação. Mas nenhuma inovação desse gênero apareceria se a atividade a que chamei de ciência normal tivesse sempre êxito. De fato com muita freqüência o indivíduo envolvido na solução de *puzzles* oferece 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, claro está, mais aparente em inovações teóricas de grande importância como as associadas aos nomes de COPÉRNICO, LAVOISIER ou EINSTEIN. Mas a descoberta dum fenômeno 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 maneira que ninguém tinha antevisto. Havia uma variável não-prevista a ser controlada; as investigações anteriores, já a caminho de se constituir 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 se segue é que, se a atividade normal de solucionar *puzzles* tivesse sempre êxito, o desenvolvimento da ciência não poderia conduzir a qualquer tipo de inovação fundamental.

Mas claro está que a ciência normal nem sempre tem êxito e ao reconhecer esse fato deparamos com a segunda grande vantagem da investigação de base paradigmática. Ao contrário de muitos dos antigos teóricos da eletricidade, o praticante duma ciência madura sabe com precisão razoável a que tipo de resultado pode chegar com a sua investigação. Em consequência disso, está em 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, é evidência inescapável da necessi-

dade 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 fato, ao reconhecimento e isolamento de uma anomalia. Um reconhecimento dessa natureza é, penso eu, condição para quase todas as descobertas de novos tipos de fenômenos e para todas as inovações fundamentais da teoria científica. Depois que um primeiro paradigma foi alcançado, uma quebra nas regras do jogo preestabelecido é o prelúdio habitual para uma inovação científica importante.

Vejam primeiro 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 fenômenos", são sim descobertas antecipadas graças a um paradigma e obtidas por solucionadores de *puzzles* experientes: 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; de certa maneira, tinham de ocorrer "por acidente". Por outro lado o acidente onde 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 projetos de investigação, a descoberta surge só quando o fracasso é particularmente persistente ou espetacular ou quando pareça pôr em questão convicções, e maneiras de proceder aceitas. Os paradigmas estabelecidos são portanto muitas vezes duplamente condições para descobertas. Sem eles o projeto que sai fora do es-

perado nunca poderia ter sido iniciado. E mesmo depois que o projeto saiu fora do esperado, como acontece com a maior parte deles durante algum tempo, o paradigma pode ajudar a determinar se o fracasso merece mais 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 sempre a ser 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 elétrica 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 Netuno 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 quando das tentativas de reconciliar a nova Química de LAVOISIER com as observações de laboratório.<sup>9</sup> 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 elétron foi introduzido para explicar algumas propriedades anômalas da condução de eletricidade através dos gases, e o seu *spin* foi sugerido para esclarecer anomalias doutro tipo observadas no espectro atômico (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. Contrariamente a uma convicção estabelecida, embora não

<sup>9</sup> No caso do cloro, ver MEYER (1891). No caso do monóxido de carbono, ver KOPP (1845).

universal, as novas teorias não são inventadas para explicar observações que não tinham antes sido ordenadas por nenhuma outra teoria. Pelo contrário, praticamente em qualquer época do desenvolvimento duma ciência avançada, todos os fatos cuja relevância é aceita apresentam-se como ajustando-se bem à teoria existente ou estando em via de se ajustar. O processo de fazer-los ajustar melhor dá origem a muitos dos problemas *standard* da ciência normal. E quase sempre cientistas convictos conseguem resolve-los. Porém nem sempre conseguem, e quando falham repetidas vezes e cada vez mais, então o seu setor da comunidade científica depara com o que algures chamei de "crise". Ao reconhecer que algo está fundamentalmente errado na teoria com que trabalham, os cientistas tentarão articulações da teoria mais fundamentais do que as que eram admitidas antes. (É típico, nos tempos de crise, encontrar numerosas versões diferentes da teoria paradigma.<sup>10</sup>) 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. Unicamente em situações desse género, sugiro eu, é uma inovação fundamental na teoria científica não só inventada, mas aceita.

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 astronômica, 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 medie

10 Um exemplo clássico (ver KUHN, 1957) é a proliferação de sistemas astronômicos geocêntricos nos 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 aceitas ocorre na mecânica e também no eletromagnetismo 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. Concordo com a opinião generalizada de que nesta obra se dá uma descrição muito preconcebida do aparecimento da teoria da relatividade, mas ela contém justamente os pormenores para ilustrar o ponto aqui em questão).

val, e NEWTON reconciliou a mecânica de GALILEU com a teoria copernicana.<sup>11</sup> A nova Química de LAVOISIER era um produto das anomalias criadas simultaneamente com a proliferação de novos gases e os primeiros estudos sistemáticos das relações entre os pesos.<sup>12</sup> A teoria ondulatória da luz foi desenvolvida num ambiente de crescente desconforto devido às anomalias surgidas nos efeitos de 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, foi estabelecida unicamente à custa da rejeição das prévias teorias paradigmáticas do calórico.<sup>13</sup> 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 deve já 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 indo certa. O prelúdio ao seu aparecimento é uma anomalia amplamente conhecida, e tal conhecimento só pode existir num grupo que sabe muito bem o que seria terem as coisas seguido o caminho certo.

Como as limitações de espaço e de tempo me forçam a parar aqui, a minha exposição sobre o dogmatismo tem de ficar esquemática. Não tentarei sequer tratar aqui da estrutura fina que, em qualquer momento, o desenvolvimento científico apresenta. Mas há outra consequência da minha tese que necessita de um comentário final. Embora a investigação susceptível de ter êxito requeira uma adesão profunda ao *status quo*, a inovação continua a ocupar uma posição central. Os cientistas são *treinados*

11 Para o caso de GALILEU, ver 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).

13 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).

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 ditadas pela natureza. O resultado é a aquisição duma tensão, em parte ao nível da comunidade, entre as habilitações profissionais 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. Até aqui tratei exclusivamente da dependência da investigação da 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. Quase ninguém, talvez mesmo ninguém, precisa de ser informado de que a vitalidade da ciência depende da continuidade nas inovações que abalem as tradições. Mas, aparentemente em conflito, a dependência da investigação de uma profunda adesão a instrumentalidades e convicções estabelecidas recebe o mínimo possível de atenção. Pressiono para que lhe seja dada mais atenção. Até que isso aconteça, algumas das características mais importantes da educação científica e do desenvolvimento da ciência continuarão a ser extremamente difíceis de compreender.

#### BIBLIOGRAFIA

- ARMITAGE, A. (1950), *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.
- COHEN, I. B. (1952), "Orthodoxy and scientific progress", *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol. 96, pp. 505-12.
- COHEN, I. B. (1956), *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*, Harvard University Press.
- DELAMBRE, J. H. B. (1816), (p. 353) elege, *Mémoires de... l'Institut... année 1812*, parte 2, p. 46.

- 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 electriques", *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. B. 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. KOYRÉ, A. (1939), *Etudes Galiléennes* (3 vols.), Paris.
- KUHN, T. S. (1957), *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, Harvard University Press.
- KUHN, T. S. (1958), "Newton's optical papers", em I. B. COHEN (org.), *Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy*, Cambridge, Mass.
- KUHN, T. S. (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.
- KUHN, T. S. (1959b), "Energy conservation as an example of simultaneous discovery", em M. CLAGETT (org.), *Critical Problems in the History of Science*, pp. 321-56, Madison.
- KUHN, T. S. (1961), "The function of measurement in modern physical science", *Isis*, N.º 52, pp. 161-93.
- KUHN, T. S. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press.
- MASON, S. F. (1956), *Main Currents of Scientific Thought*, Nova 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 Lemonier, *Philosophical Transactions*, N.º 94, p. 247.
- PARTINGTON, J. R. (1948), *A Short History of Chemistry*, Londres, 2.ª ed. (prow. 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. (1948), *Wissenschaftliche Selbstbiographie*, Leipzig.
- POLANYI, M. (1951), *The Logic of Liberty*, Routledge & Kegan Paul.
- POLANYI, M. (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 Cow.*

- lomb*, 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.
- THOMPSON, J. J. (1937), *Recollections and Reflections*, Bell. WHEWELL, W. (1847), *History of the Inductive Sciences*, Parker, ed. rev.
- WHITPAKER, E. T. (1951-53), *History of the Theories of Aether and Electricity*, Nelson, 2ª ed.