

Imre Lakatos

**FALSIFICAÇÃO
E
METODOLOGIA
DOS
PROGRAMAS
DE
INVESTIGAÇÃO
CIENTÍFICA**

Título original: *Philosophical Papers 1*
(Capítulos 1 e 3)

Publicado por *Press Syndicate of the University of Cambridge*

© Imre Lakatos Memorial Appeal Fund and
the Estate of Imre Lakatos, 1978

Tradução de
Emília Picado Tavares Marinho Mendes

Revisão de Artur Morão

Capa de Edições 70

Depósito legal n.º 143235/99

ISBN 972 - 44 - 1008 - 0

Todos os direitos reservados para a língua portuguesa por
Edições 70 - Lisboa - Portugal

EDIÇÕES 70, LDA.
Rua Luciano Cordeiro, 123 - 2.º Esq.º - 1069-157 LISBOA / Portugal
Telefs: (01) 3158752 - 3158753
Fax: (01) 3158429

Esta obra está protegida pela lei. Não pode ser reproduzida
no todo ou em parte, qualquer que seja o modo utilizado,
incluindo fotocópia e xerocópia, sem prévia autorização do Editor.
Qualquer transgressão à lei dos Direitos do Autor será passível de
procedimento judicial.

edições 70

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
BIBLIOTECA

705698

165

FC

LAK

série de teorias da qual se pode dizer que constitui *uma* alteração de problemas.

Isto conduz-nos a outros problemas. Visto que um dos traços cruciais do falsificacionismo sofisticado é o de que ele substitui o conceito de *teoria* como conceito básico da lógica da descoberta pelo conceito de *séries de teorias*. *O que se avaliará como científico ou não científico é uma sucessão de teorias e não uma dada teoria*. Mas os membros de tais séries de teorias estão normalmente ligados por uma *continuidade* notável que os unifica em *programas de investigação*. Esta *continuidade* – que lembra a “ciência normal” kuhniana – desempenha um papel vital na história da ciência: os principais problemas da lógica da descoberta não podem ser satisfatoriamente discutidos excepto no quadro de uma *metodologia de programas de investigação*.

3. Uma metodologia de programas de investigação científica

Discuti o problema da apreciação objectiva do desenvolvimento científico em termos de alterações progressivas e degenerativas de problemas em séries de teorias científicas. As mais importantes dessas séries no desenvolvimento da ciência são caracterizadas por uma certa *continuidade* que liga os seus membros. Esta *continuidade* desenvolve-se a partir de um programa de investigação genuíno esboçado de início. O programa é constituído por regras metodológicas: algumas indicam-nos os caminhos da investigação a evitar (*heurística negativa*), outras os caminhos a seguir (*heurística positiva*)⁽¹⁵³⁾.

Até a ciência como um todo se pode ver como um gigantesco programa de investigação com a regra heurística suprema de Popper: “*imagina conjecturas que tenham mais conteúdo empírico do que as suas antecessoras*”. Tais regras metodológicas podem formular-se, como referiu Popper, como princípios metafísicos⁽¹⁵⁴⁾. Por exemplo, a regra *universal* anticonvencionalista contra a eliminação de excepções pode enunciar-se como o princípio metafísico: “*A Natureza não admite excepções*”. É por este motivo que Watkins chamou a tais regras “*metafísica influente*”⁽¹⁵⁵⁾.

Mas o que me preocupa essencialmente não é a ciência como um todo, mas antes programas de investigação *particulares*, como o que é conhecido por “*metafísica cartesiana*”. A *metafísica cartesiana*, isto é, a teoria mecanicista do universo – de acordo com a qual o universo é um gigantesco mecanismo de relójoaria (e um sistema de vórtices), que apresenta como única causa do movimento o choque – desempenhou a função de um poderoso princípio heurístico. Desencorajou o trabalho em torno de teorias científicas (como a versão “*essencialista*”) da teoria de Newton da acção à distância – inconsistentes com a sua visão do universo (*heurística negativa*). Por outro lado, encorajou o trabalho em torno de hipóteses auxiliares que a podiam ter salvo da contra-evidência aparente – como é o caso das elipses de Kepler (*heurística positiva*)⁽¹⁵⁶⁾.

(a) *Heurística negativa – o “núcleo” firme do programa.*

Todos os programas de investigação científica podem ser caracterizados pelo seu “*núcleo*” firme. A *heurística negativa* do programa impede-nos de orientar o *modus tollens* para este “*núcleo*” firme. Em vez disso, devemos utilizar o nosso engenho para articular, ou mesmo inventar, “*hipóteses auxiliares*” que formem uma *cintura protectora* em torno deste núcleo e, em seguida, reorientar o *modus tollens* para estas hipóteses. É esta *cintura protectora* de hipóteses auxiliares que tem de suportar o embate dos testes e ser ajustada e reajustada ou até completamente substituída, para defender o núcleo tornado assim mais firme. Um programa de investigação é bem sucedido se tudo isto conduz a uma alteração de problemas progressiva; fracassa, se tudo isto conduz a uma alteração de problemas degenerativa.

O exemplo clássico de um programa de investigação bem sucedido é a teoria gravitacional de Newton: possivelmente o programa de investigação com maior êxito de sempre. Quando foi produzido pela primeira vez, encontrava-se submerso num oceano de “*anormalias*” (ou, se quiserem, “*contra-exemplos*”)⁽¹⁵⁷⁾ e contrastado com as teorias observacionais que serviam de suporte

a essas anomalias. Mas os newtonianos, com tenacidade e engenho brilhantes, transformaram, um após outro, os contra-exemplos em exemplos corroboradores, principalmente ao derrubar as teorias observacionais primitivas, à luz das quais se estabelecera a “evidência contrária”. No decurso deste processo, eles próprios produziram novos contra-exemplos que de novo solucionaram. “Transformaram cada nova dificuldade numa nova vitória do seu programa” (158).

No programa de Newton, a heurística negativa obriga-nos a desviar o *modus tollens* das três leis da dinâmica de Newton e da sua lei da gravitação. Este “núcleo” é “irrefutável” pela decisão metodológica dos seus proponentes: as anomalias só devem conduzir a modificações na cintura “protectora” de hipóteses auxiliares “observacionais” e nas condições iniciais (159).

Apresentei um micro-exemplo imaginário de uma alteração progressiva da problemática newtoniana (160). Se o analisarmos, ele revela-nos que cada elo sucessivo neste exercício prediz um facto novo; cada passo representa um acréscimo no conteúdo empírico: o exemplo constitui uma *alteração teórica consistentemente progressiva*. Além disso, cada predição é finalmente verificada, embora em três ocasiões subsequentes possam ter parecido ser, momentaneamente, “refutadas” (161). Enquanto o “progresso teórico” (no sentido aqui descrito) pode ser imediatamente verificado (162), o “progresso empírico” não, e num programa de investigação podemos ser frustrados por uma longa série de “refutações”, antes que hipóteses auxiliares * engenhosas e felizes transformem uma sequência de derrotas – *retrospectivamente* – numa reumbante história de sucesso, quer pela revisão de alguns “factos” falsos, quer pela adição de novas hipóteses auxiliares. Nesse caso, podemos dizer que devemos exigir que cada passo de um programa de investigação seja portador, consistentemente, de um aumento do conteúdo: que cada passo constitua uma *alteração de problemática teórica consistentemente progressiva*. Além disso, só

* Produtoras de um aumento de conteúdo (N. do T.).

necessitamos que, pelo menos de vez em quando, o acréscimo de conteúdo seja retrospectivamente corroborado; o programa como um todo deveria também revelar uma *alteração empírica intermitentemente progressiva*. Não exigimos que cada passo produza *imediatamente* um facto novo *observado*. O termo “intermitentemente” oferece um campo de acção *racional* suficiente para permitir a adesão dogmática a um programa, face a “refutações” *prima facie*.

A ideia de “heurística negativa” de um programa de investigação científica racionaliza em larga medida o convencionalismo clássico. Podemos decidir racionalmente não permitir que as “refutações” transmitam a falsidade ao núcleo firme, desde que o conteúdo empírico corroborado da cintura protectora de hipóteses auxiliares aumente. Mas a nossa perspectiva difere do convencionalismo justificacionista de Poincaré porque, ao contrário de Poincaré, defendemos que, se e quando o programa deixa de antecipar factos novos, o seu núcleo firme poderá ter de ser abandonado: isto é, o *nosso* núcleo firme, contrariamente ao de Poincaré, pode desagregar-se sob certas condições. Neste sentido concordamos com Duhem, que pensava que tal possibilidade devia ser tomada em consideração (163); mas para Duhem a razão dessa desagregação é puramente *estética* (164), enquanto para nós ela é sobretudo *lógica e empírica*.

(b) Heurística positiva: a construção da cintura protectora e a relativa autonomia da ciência teórica

Os programas de investigação, para além da sua heurística negativa, são também caracterizados pela sua heurística positiva.

Até mesmo os programas de investigação mais rápida e consistentemente progressivos só podem digerir a evidência contrária pouco a pouco: as anomalias nunca são completamente esgotadas. Mas não devia pensar-se que as anomalias ainda não explicadas – “puzzles”, como lhes chamaria Kuhn – são seleccionadas ao acaso e a cintura protectora construída de modo ecléctico,

sem qualquer ordem preconcebida. A ordem é normalmente decidida no gabinete do teórico, independentemente das anomalias *conhecidas*. São poucos os cientistas teóricos, envolvidos num programa de investigação, que prestam uma atenção excessiva às “refutações”. Eles têm uma política de investigação de longo prazo que antecipa estas refutações. Esta política de investigação, ou ordem de investigação, é delineada — com maior ou menor pormenor — na *heurística positiva* do programa de investigação. A *heurística negativa* especifica o “núcleo firme” do programa que é “irrefutável” pelas decisões metodológicas dos seus proponentes; a *heurística positiva* consiste num conjunto parcialmente articulado de sugestões ou conselhos sobre como modificar, desenvolver, as “variantes refutáveis” do programa de investigação, como alterar, tornar mais sofisticada, a cintura protectora “refutável”.

A *heurística positiva* do programa preserva o cientista da confusão originada pelo oceano de anomalias. A *heurística positiva* traça um programa que regista uma cadeia de *modelos* de simulação da realidade cada vez mais complicados: a atenção do cientista está fixada na construção dos seus modelos seguindo instruções estabelecidas na parte positiva do seu programa. Ele ignora os contra-exemplos *presentes*; os “*dados*” disponíveis (¹⁶⁵). Newton planeou pela primeira vez o seu programa, para um sistema planetário com um sol fixo semelhante a um ponto e um único planeta semelhante a um ponto. Foi a partir deste modelo que derivou a sua lei do quadrado inverso para a elipse de Kepler. Mas este modelo era proibido pela terceira lei da dinâmica do próprio Newton e, por esse motivo, tinha de ser substituído por um modelo em que tanto o Sol como o planeta girassem em torno do seu centro comum de gravidade. Esta mudança não foi motivada por qualquer observação (os dados não sugeriram a presença de qualquer “anomalia” neste caso), mas por uma dificuldade teórica no desenvolvimento do programa. Em seguida, ele planeou o programa para um maior número de planetas, como se existissem apenas forças helicêntricas e não interplanetárias. Depois, resolveu o caso em que o Sol e os planetas eram *esferas de massa* e não pontos de massa. De novo, não foi necessária a observação de uma anomalia para que esta mudança ocorresse; a densidade infinita era proibida

por uma teoria-padrão (não articulada); por consequência, os planetas *tinham* de sofrer um aumento das suas dimensões. Esta mudança envolvia dificuldades matemáticas consideráveis, fez parar o trabalho de Newton — e atrasou a publicação dos *Principia* em mais de uma década. Resolvido este “puzzle”, ele iniciou o trabalho sobre *as esferas em rotação* e as suas oscilações dos eixos. Em seguida, admitiu as forças interplanetárias e iniciou o trabalho sobre *as perturbações*. Chegado a este ponto, começou a encarar os factos com mais ansiedade. Muitos deles eram explicados (qualitativamente) com perfeição por este modelo, muitos outros não. Foi então que ele iniciou o trabalho sobre planetas *com protuberâncias*, de preferência aos planetas esféricos, etc.

Newton desprezava as pessoas que, como Hooke, topavam com um primeiro modelo ingénuo, mas não tinham a tenacidade e a capacidade para o transformar num programa de investigação e que pensavam que uma primeira versão, um mero à parte, constituía uma “descoberta”. Demorou a publicação até que o seu programa tivesse atingido uma alteração progressiva notável (¹⁶⁶).

A maior parte dos “puzzles” newtonianos, se não todos, conducentes a uma série de variantes que se vão substituindo, eram previsíveis na época do primeiro modelo ingénuo de Newton e, sem dúvida, Newton e os seus colegas *anteviram-nos*: Newton deve ter tido consciência plena da falsidade banal das suas primeiras variantes. Nada patenteia mais claramente do que este facto a existência de uma *heurística positiva* de um programa de investigação: é por isso que se fala de “modelos” em programas de investigação. Um “*modelo*” é um conjunto de condições iniciais (possivelmente em conjunto com algumas das teorias observacionais) que se sabe estar sujeito a ser substituído durante o desenvolvimento ulterior do programa, sabendo-se até, mais ou menos, como. Isto mostra de novo quão irrelevantes são as “refutações” de qualquer variante específica num programa de investigação: a sua existência é totalmente esperada, a *heurística positiva* é a estratégia tanto para as prever (produzir) como para as digerir. De facto, se a *heurística positiva* foi claramente entendida, as dificuldades do programa são mais de tipo matemático do que empírico (¹⁶⁷).

Pode formular-se a "heurística positiva" de um programa de investigação como um princípio "metafísico". O programa de Newton, por exemplo, pode formular-se da seguinte forma: "os planetas são essencialmente piões de forma aproximadamente esférica que gravitam". Esta ideia nunca foi defendida *inflexivelmente*: os planetas não são só gravitacionais, têm também, por exemplo, características electromagnéticas que podem influir nos seus movimentos. A heurística positiva é assim, em geral, mais flexível do que a heurística negativa. Além disso, acontece ocasionalmente que, quando um programa de investigação entra numa fase degenerativa, uma pequena revolução ou uma *alteração criativa* na sua heurística positiva o faz de novo avançar⁽¹⁶⁸⁾. Por consequência, é melhor separar o "núcleo firme" dos princípios metafísicos, mais flexíveis, que expressam a heurística positiva.

As nossas considerações mostram que a heurística positiva se lança para a frente com uma quase total indiferença pelas "refutações": pode parecer que são as "verificações"⁽¹⁶⁹⁾ e não as refutações que fornecem os pontos de contacto com a realidade. Embora se possa mostrar que qualquer "verificação" da versão $(n+1)$ do programa é uma refutação da versão n , não podemos negar que *algumas* anulações de versões subsequentes são sempre antevistas: são as "verificações" que, apesar das instâncias recalcitrantes, mantêm o programa em funcionamento.

Podemos avaliar os programas de investigação, mesmo depois da sua "eliminação", pelo seu *poder heurístico*: que quantidade de factos novos produziram, qual a extensão das "suas capacidades para explicar as suas refutações no decurso dos seus desenvolvimentos"?⁽¹⁷⁰⁾

(Podemos também avaliá-los pelo estímulo transmitido às matemáticas. As dificuldades reais do cientista teórico resultam mais das *dificuldades matemáticas* do programa do que das anomalias. A importância do programa newtoniano resulta em parte do desenvolvimento – pelos newtonianos – da análise infinitesimal clássica, que era uma condição prévia crucial para o seu sucesso.)

Assim a metodologia dos programas de investigação científica é responsável pela *relativa autonomia da ciência teórica*: um facto

histórico cuja racionalidade não pode ser explicada pelos primeiros falsificacionistas. O tipo de problemas escolhido racionalmente pelos cientistas que trabalham em programas de investigação vigorosos é determinado, não pelas preocupações psicológicas ou anomalias (tecnologicamente prementes), mas antes pela heurística positiva do programa. As anomalias são registadas, mas postas de lado na esperança de que venham a transformar-se, na altura própria, em corroborações do programa. Só os cientistas que se encontram ocupados com exercícios de tentativa e erro⁽¹⁷¹⁾ ou trabalham numa fase degenerativa de um programa de investigação quando a heurística positiva perdeu o vigor, têm de concentrar a sua atenção nas anomalias. (É claro que tudo isto deve parecer repugnante aos falsificacionistas ingénuos, os quais sustentam que, uma vez "refutada" pela experiência (segundo o seu catecismo), uma teoria é irracional (e desonesto) desenvolvê-la mais: a velha teoria "refutada" tem de ser substituída por uma nova, não refutada.)

(c) Dois exemplos. Prout e Bohr.

BIBLIOTECA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

UNIVERSIDADE DE LISBOA

A dialéctica da heurística positiva e negativa num programa de investigação pode esclarecer-se melhor recorrendo a exemplos. Por conseguinte, passo a delinear alguns aspectos de dois programas de investigação espectacularmente bem sucedidos: o programa de Prout⁽¹⁷²⁾, baseado na ideia de que todos os átomos são compostos por átomos de hidrogénio, e o programa de Bohr, baseado na ideia de que a emissão da luz se deve ao salto de electrões de uma para outra órbita, no interior dos átomos.

(Ao escrever um estudo sobre um caso histórico, dever-se-ia, penso, adoptar o seguinte modo de proceder: (1) fornece-se uma *reconstrução racional*; (2) tenta-se comparar esta *reconstrução racional com a história real e criticar tanto a reconstrução racional por falta de historicidade como a história real por falta de racionalidade*. Por conseguinte, qualquer estudo histórico deve ser precedido por um estudo heurístico: a história da ciência sem a

filosofia da ciência é cega. Não é meu propósito neste texto passar seriamente ao segundo estágio.)

(c 1) Prout: a progressão de um programa de investigação num oceano de anomalias.

Prout, num texto anónimo de 1815, defendeu que os pesos atómicos de todos os elementos químicos puros eram números inteiros. Sabia muito bem que as anomalias eram abundantes, mas afirmava que elas resultavam do facto de as substâncias químicas se apresentarem habitualmente sob uma forma *impura*: isto é, as “técnicas experimentais” relevantes à época eram falíveis, ou, utilizando os nossos termos, as teorias “observacionais” contemporâneas à luz das quais os valores de verdade dos enunciados básicos da sua teoria eram estabelecidos, eram falsas (173). Os defensores da teoria de Prout empreenderam assim uma aventura importante e arriscada: derrubar as teorias que produziam a evidência contrária da sua tese. Para a levar a cabo, tinham de modificar radicalmente a química analítica estabelecida da época e rever, em conformidade, as técnicas experimentais a utilizar para a separação dos elementos puros (174). Na realidade, a teoria de Prout destruiu, uma após outra, as teorias previamente aplicadas na purificação das substâncias químicas. Mesmo assim, alguns químicos fartaram-se do programa de investigação e desistiram dele, visto que os êxitos somados estavam ainda longe de os conduzir a uma vitória final. Stas, por exemplo, frustrado por algumas instâncias recalcitrantes e obstinadas, concluiu em 1860 que a teoria de Prout não tinha “qualquer fundamento” (175). Mas outros foram mais encorajados pelo progresso do que desencorajados pela ausência de um êxito completo. Por exemplo, Marignac ripostou imediatamente, afirmando que “embora para satisfação as experiências do senhor Stas sejam perfeitamente exactas, [não existe comprovação] de que as diferenças observadas entre os seus resultados e os exigidos pela lei de Prout não possam ser explicadas pelo carácter imperfeito dos métodos experimentais” (176). Como o afirmou Crookes em 1886: “Muitos químicos de reconhecida

excelência consideraram que o que temos aqui [na teoria de Prout] é uma expressão da verdade, escondida sob uma máscara de alguns fenómenos residuais ou colaterais, que ainda não fomos capazes de eliminar (177). Isto é, tinham de existir algumas suposições *adicionais* falsas e ocultas nas teorias “observacionais” em que se baseavam as “técnicas experimentais” para a purificação química e com a ajuda das quais eram calculados os pesos atómicos: na perspectiva de Crookes até em 1886 “alguns dos pesos atómicos existentes representavam meramente um valor médio” (178). De facto, Crookes passou à expressão da sua ideia de forma científica (produtora de um aumento de conteúdo): propôs novas teorias de “fracionamento” concretas, um novo “duende seleccionador” (179). Mas, desgrazadamente, as suas novas teorias observacionais mostraram-se tão falsas quanto arrojadas e, sendo incapazes de antecipar qualquer facto novo, foram eliminadas da história da ciência (racionalmente reconstruída). Como veio a mostrar-se uma geração mais tarde, existia uma suposição oculta realmente básica que levava os investigadores ao insucesso: a de que dois elementos puros devem ser separáveis por métodos *químicos*. A ideia de que dois elementos puros diferentes se podem comportar de modo idêntico em todas as reacções *químicas*, mas podem ser separados por métodos *físicos*, exigia uma mudança, uma “*dilatação*” do conceito de “elemento puro” que constituía uma mudança – uma *expansão amplificadora de conceitos* – do próprio programa de investigação (180). Esta *alteração criativa*, altamente revolucionária, só foi alcançada pela escola de Rutherford (181); e então “depois de muitas vicissitudes e das refutações aparentemente mais convicentes, a hipótese tão brilhantemente avançada por Prout, um físico de Edimburgo, em 1815, tornou-se, um século mais tarde, a pedra angular das teorias modernas da estrutura dos átomos” (182). Todavia, este passo criativo era unicamente, de facto, um resultado marginal do progresso de um programa de investigação diferente: na realidade distante; os proutianos, na ausência deste estímulo *externo*, nunca sonharam com a possibilidade de construir, por exemplo, máquinas centrífugas poderosas para separarem os elementos.

(Quando uma teoria “observacional” ou “interpretativa” é

finalmente eliminada, os cálculos “precisos” levados a cabo no interior do edifício abandonado podem parecer – encarados retrospectivamente – bastante disparatados. Soddy parodiou a “precisão experimental” com a intenção de a salvaguardar: “Há seguramente qualquer coisa de semelhante, se não superior, à tragédia na fatalidade que atingiu a obra à qual se consagrou a vida inteira dessa distinta galáxia de químicos do século XIX, justamente venerados pelos seus contemporâneos como representantes da perfeição consumada do cálculo científico exacto. Os seus resultados arduamente obtidos parecem, pelo menos de momento, ter tido pouco interesse e alcance como a determinação do peso médio de uma colecção de garrafas, algumas das quais cheias e algumas mais ou menos vazias” (183).

Sublinhemos o facto de não ter existido alguma vez, à luz da metodologia de programas de investigação aqui proposta, qualquer motivo racional para *eliminar* o programa de Prout. De facto, o programa produziu uma alteração progressiva perfeita, mesmo tomando em consideração a existência de dificuldades consideráveis (184). O nosso esboço mostra como um programa de investigação pode desafiar uma quantidade apreciável de conhecimento científico aceite: encontra-se como que plantado num meio hostil que pode, pouco a pouco, ultrapassar e transformar.

A história do programa de Prout ilustra, também, da melhor maneira possível, o quanto o progresso da ciência foi entravado e atrasado pelo justificacionismo e pelo falsificacionismo ingénuo. (A oposição à teoria atómica no século XIX foi animada por ambas as correntes.) Uma elaboração desta influência particular da má metodologia sobre a ciência pode constituir um programa de investigação recompensador para o historiador da ciência.

(c 2) *Bohr: a progressão de um programa de investigação sobre fundamentos inconsistentes.*

Um breve esboço do programa de investigação de Bohr sobre a emissão da luz (na física quântica inicial) ilustrará melhor – e desenvolverá até – a nossa tese (185).

A história do programa de investigação de Bohr pode ser caracterizada por: (1) o seu problema inicial; (2) a sua heurística negativa e positiva; (3) os problemas que procurou solucionar no curso do seu desenvolvimento; e (4) o seu ponto de degeneração (ou, se quiserem, o “ponto de saturação”) e, finalmente, (5) o programa que o veio a suplantar.

O problema de fundo era o enigma da estabilidade dos átomos de Rutherford (isto é, sistemas planetários minúsculos em que os electrões orbitam em torno de um núcleo positivo): visto que, de acordo com a teoria bem corroborada do electromagnetismo de Maxwell-Lorentz, eles se deviam desagregar. Mas a teoria de Rutherford estava também bem corroborada. A sugestão de Bohr consistia em ignorar momentaneamente a inconsistência e em desenvolver conscientemente um programa de investigação cujas versões “refutáveis” eram inconsistentes com a teoria de Maxwell-Lorentz (186). Ele propôs cinco postulados como *núcleo firme* do seu programa: “(1) que a radiação de energia [no interior do átomo] não é emitida (ou absorvida) de modo contínuo como o supunha a electrodinâmica vulgar, mas só durante a passagem dos sistemas de um para outro estado ‘estacionário’; (2) Que o equilíbrio dinâmico dos sistemas nos estados estacionários é governado pelas leis vulgares da mecânica, embora estas leis não sejam válidas para a passagem dos sistemas de um para outro estado; (3) Que a radiação emitida durante a transição de um sistema de um para outro estado estacionário é homogénea e que a relação entre a frequência ν e a quantidade total de energia emitida E é dada pela fórmula $E = h\nu$, em que h é a constante de Planck; (4) Que os diferentes estados estacionários de um sistema simples constituído por um electrão em rotação circulando em torno de um núcleo positivo são determinados pela condição de que a razão entre a energia total, emitida durante a formação da configuração e a frequência da revolução do electrão, seja um múltiplo inteiro de $1/2h$. Supondo que a órbita do electrão é circular, esta suposição é equivalente à suposição de que o momento angular do electrão em torno do núcleo é igual a um múltiplo inteiro de $h/2\pi$; (5) Que o estado “permanentemente” de qualquer sistema atómico, i. é., o estado em que é máxima a

energia emitida, é determinado pela condição de que o momento angular de cada electrão em torno do centro da sua órbita seja igual a $h/2\pi$ " (187).

Temos de apreciar a diferença metodológica crucial entre a inconsistência introduzida pelo programa de Prout e a introduzida pelo programa de Bohr. O programa de investigação de Prout declarou guerra à química analítica do seu tempo: a sua heurística positiva foi planeada para a derrubar e substituir. Mas o programa de investigação de Bohr não continha qualquer plano análogo: a sua heurística positiva, mesmo se tivesse sido completamente bem sucedida, teria deixado por resolver a inconsistência com a teoria de Maxwell-Lorentz (188). Sugerir tal ideia exigia uma coragem ainda maior do que a de Prout; a ideia passou pela cabeça de Einstein, mas ele achou-a inaceitável e rejeitou-a (189). De facto, *alguns dos mais importantes programas de investigação da história da ciência foram exercitados em programas mais velhos, com os quais eram gritantemente inconsistentes*. A astronomia copernicana, por exemplo, foi "enxertada" na física aristotélica, o programa de Bohr no de Maxwell. Tais "enxertos" são irracionais para o justificacionista e para o falsificacionista ingénio, nenhum dos quais pode sancionar o desenvolvimento com base em fundamentos inconsistentes. Por esse motivo, eles encontram-se normalmente dissimulados por estratégias *ad-hoc* – como a teoria de Galileu da inércia circular ou o princípio da correspondência e mais tarde da complementaridade, de Bohr – cuja única finalidade é ocultar a "deficiência" (190). À medida que o jovem programa enxertado se fortalece, a coexistência pacífica chega ao fim, a simbiose torna-se competitiva e os defensores do novo programa tentam substituir totalmente o velho programa.

Pode muito bem ter sido o sucesso do seu "programa enxertado" que mais tarde induziu Bohr em erro, ao acreditar que tais inconsistências fundamentais nos programas de investigação podem e devem, em *princípio*, tolerar-se, porque não oferecem qualquer problema sério, tendo unicamente de nos habituar a elas. Bohr tentou em 1922 enfraquecer os padrões da crítica científica: argumentou que "o *mais* que se pode exigir a uma teoria [i.é., programa] é que

a classificação que ela estabelece se possa levar tão longe que possa contribuir para o desenvolvimento do campo de observação pela predição de *novos* fenómenos" (191).

(Esta afirmação de Bohr é semelhante à de d'Alambert, quando se viu confrontado com a inconsistência nos fundamentos da teoria infinitesimal. "*Allez en avant et la foi vous viendra*." De acordo com Margenau, "é compreensível que, na excitação que acompanha os seus êxitos, os homens deixem passar uma malformação na arquitetura da teoria; porquanto o átomo de Bohr assentava como uma torre barroca sobre a base gótica da electrodinâmica clássica" (192). Mas, na realidade, a "malformação" não se "deixou passar": todos estavam conscientes da sua presença, só que a ignoraram – mais ou menos – durante a fase progressiva do programa (193). A nossa metodologia dos programas de investigação mostra a racionalidade desta atitude, mas também a irracionalidade da defesa de tais "malformações", uma vez acabada a fase progressiva.

Devia referir-se neste momento o facto de Bohr ter abandonado, nos anos trinta e quarenta, a sua busca de "novos fenómenos" e se encontrar preparado para se "ocupar com a tarefa imediata de coordenação da numerosa e diversa evidência respeitante aos fenómenos atómicos que se acumulava de dia para dia, na exploração deste novo campo do conhecimento" (194). Isto indica que Bohr tinha, por esta altura, recorrido à "salvação dos fenómenos", enquanto Einstein insistia em afirmar sarcasticamente que "todas as teorias são verdadeiras desde que se possam associar convenientemente os seus símbolos com as quantidades observadas" (195).

Mas a *consistência* – num sentido forte do termo (196) – *deve manter-se como um princípio regulador importante* (além da exigência de alteração de problemas progressiva); e as inconsistências (incluindo as anomalias) *devem* encarar-se como problemas. A razão é simples. Se a ciência aspira à verdade, deve procurar a consistência; se renuncia à consistência, renuncia à verdade. Exigir que "sejam moderados nas nossas exigências" (197), que nos resignemos perante as inconsistências – fracas ou fortes – continua a ser um vício metodológico. Por outro lado, isto não significa que a descoberta de uma inconsistência – ou de uma anomalia – deva

fazer parar *imediatamente* o desenvolvimento de um programa: pode ser racional pôr a inconsistência numa quarentena *ad hoc* temporária e continuar com a heurística positiva do programa. Isto fez-se, mesmo nas matemáticas, como o mostram os exemplos do primitivo cálculo infinitesimal e da teoria ingénua dos conjuntos (¹⁹⁸).

(Deste ponto de vista, o “princípio da correspondência” de Bohr desempenhou um interessante papel duplo no seu programa. Por um lado, funcionou como um importante princípio heurístico que sugeriu um grande número de novas hipóteses científicas, as quais, por sua vez, conduziram a factos novos, especialmente no campo da intensidade das riscas do espectro (¹⁹⁹). Por outro lado, funcionou também como um mecanismo de defesa, que “se esforçava por utilizar com o máximo alcance os conceitos das teorias clássicas da mecânica e da electrodinâmica, a despeito do contraste entre estas teorias e o quantum de acção” (²⁰⁰), em vez de accentuar a necessidade urgente de um programa unificado. O desempenho deste segundo papel permitiu-lhe reduzir o grau de problematidade do programa (²⁰¹).)

É claro que o programa de investigação da teoria dos quanta era, na totalidade, um “programa enxertado” e por isso repugnava aos físicos com pontos de vista profundamente conservadores, como Planck. Existem duas posições extremas e igualmente irracionais no que respeita a um programa enxertado.

A *posição conservadora* consiste em fazer parar o novo programa até que a inconsistência básica com o velho programa esteja de certo modo resolvida: é irracional trabalhar sobre fundamentos inconsistentes. Os “conservadores” concentrar-se-ão na eliminação da inconsistência pelo esclarecimento (aproximado) dos postulados do novo programa em termos do velho programa: consideram ser irracional continuar com o novo programa sem uma *redução*, bem sucedida, do género da mencionada. O próprio Planck escolheu esta via. Não foi bem sucedido, apesar da década de trabalho árduo que nela investiu (²⁰²). Por conseguinte, o comentário de Laue, ao considerar a conferência de Planck de 14 de Dezembro de 1900 como o “nascimento da teoria dos quanta”, não é inteiramente verdadeiro: essa data marcou o nascimento do

programa de redução de Planck. A decisão de *continuar* com fundamentos temporariamente inconsistentes foi tomada por Einstein em 1905, mas até ele hesitou em 1913, quando Planck se lançou novamente para a frente.

A *posição anarquista* no que diz respeito aos programas enxertados consiste em exaltar a anarquia nos fundamentos como uma virtude e em considerar a inconsistência [fraca], quer como uma propriedade básica da natureza, quer como um limite definitivo do conhecimento humano, como o fizeram alguns dos seguidores de Bohr.

A *posição racional* é caracterizada da melhor maneira por Newton, que se confrontou com uma situação que era até certo ponto semelhante à que aqui discutimos: A mecânica cartesiana do impulso, na qual o programa de Newton foi de início enxertado, era inconsistente (de modo fraco) com a teoria de Newton da gravitação. Newton trabalhou, tanto na sua heurística positiva (com sucesso) como num programa redutor (sem sucesso), e discordou tanto dos cartesianos que, como Huyghens, pensavam que não valia a pena perder tempo com um programa “ininteligível”, como de alguns dos seus discípulos precipitados que, como Cotes, pensavam que a inconsistência não oferecia qualquer problema (²⁰³).

A posição racional no que diz respeito aos programas “enxertados” é, por conseguinte, a de explorar o seu poder heurístico sem renunciar ao caos fundamental no qual se desenvolve. Duma maneira geral, esta atitude dominou a velha teoria dos quanta, anterior a 1925. A posição anarquista tornou-se dominante na nova teoria dos quanta, posterior a 1925, e a física quântica moderna, na sua “interpretação de Copenhaga”, veio a ser uma das mais importantes expressões do obscurantismo filosófico. Na nova teoria, o conhecido “princípio da complementaridade” de Bohr entronizou a inconsistência fraca como uma característica básica irrevogável da natureza, e amalgamou o positivismo subjectivista, a dialéctica antiológica e até a filosofia vulgar da linguagem numa aliança medonha. Depois de 1925, Bohr e os seus companheiros introduziram um debilitamento novo e sem precedentes nos padrões críticos para as teorias científicas. Isto conduziu a uma derrota da

sensatez no interior da física moderna e a um culto anarquista do caos incompreensível. Einstein protestou: “A tranquilizante filosofia – ou religião? – de Heisenberg-Bohr é forjada tão delicadamente que, por agora, proporciona ao verdadeiro crente um descanso suave”⁽²⁰⁴⁾. Por outro lado, os padrões demasiado elevados de Einstein podem muito bem ter constituído a razão que o impediu de descobrir (ou talvez só de publicar) o modelo de Bohr e a mecânica ondulatória.

Einstein e os seus aliados não ganharam a batalha. Os compêndios de física estão, hoje em dia, repletos de enunciados como este: “Os dois pontos de vista, quântico e o relativo às forças do campo electromagnético, são complementares no sentido de Bohr. Esta complementaridade é uma das grandes realizações da filosofia natural fruto da resolução trazida pela interpretação de Copenhaga da epistemologia da teoria dos quanta ao velho conflito entre as teorias corpuscular e ondulatória da luz. Das propriedades de reflexão e propagação rectilínea de Herão de Alexandria no primeiro século d.C., às propriedades de interferência e de onda de Young e Maxwell, no século XIX, esta controversia desenvolveu-se furiosamente. A teoria dos quanta de radiação resolveu *completamente* a dicotomia durante a última metade do século, utilizando de modo notável o método hegeliano”⁽²⁰⁵⁾.

Regressemos agora à lógica da descoberta da velha teoria dos quanta e concentremo-nos, em particular, na sua *heurística positiva*. O plano de Bohr consistia em determinar, em primeiro lugar, a teoria do átomo de hidrogénio. O seu primeiro modelo era baseado num próton-núcleo fixo com um electrão numa órbita circular; no seu segundo modelo, ele quis calcular uma órbita elíptica num plano fixo; depois, planeou remover as restrições claramente artificiais do núcleo fixo e do plano fixo; depois disto, pensou em levar em linha de conta a rotação possível do electrão⁽²⁰⁶⁾ e, em seguida esperava alargar o seu programa à estrutura de átomos complexos e às moléculas e aos efeitos dos campos electromagnéticos sobre estes, etc., etc. Tudo isto foi desde o início planeado com exactidão: a ideia de que os átomos são análogos a sistemas planetários deixava entrever um programa longo, difícil mas optimista, e indicava

claramente a política de investigação⁽²⁰⁷⁾. “Parecia nesta altura – no ano de 1913 – que a verdadeira chave para os espectros se tinha finalmente encontrado, que só o tempo e a paciência seriam necessários para resolver completamente os seus enigmas”⁽²⁰⁸⁾.

O famoso primeiro texto de Bohr, de 1913, continha o passo inicial no programa de investigação. Continha o seu primeiro modelo (chamar-lhe-ei M1) que já predizia factos até aí imprevisíveis por qualquer teoria anterior: os comprimentos de onda do espectro de linhas de emissão do hidrogénio. Embora alguns destes comprimentos de onda fossem conhecidos antes de 1913 – as séries de Balmer (1885) e as séries de Paschen (1908) –, a teoria de Bohr predizia muito mais do que estas duas séries conhecidas. E os testes em breve corroboraram o seu novo conteúdo: uma série de Bohr adicional foi descoberta por Lyman em 1914, outra por Brackett em 1922, e ainda outra por Pfund em 1924.

Visto que as séries de Balmer e Paschen eram conhecidas antes de 1913, alguns historiadores apresentam a história como um exemplo de uma “ascensão indutiva” baconiana: (1) o caos das riscas do espectro, (2) uma “lei empírica” (Balmer), (3) a explicação teórica (Bohr). Isto parece-se certamente com os três “andares” de Whewell. Mas o progresso da ciência teria sido pouco afectado se não tivéssemos os louváveis ensaios e erros do engenhoso professor suíço: a linha especulativa principal da ciência, continuada pelas especulações ousadas de Planck, Rutherford, Einstein e Bohr teria produzido dedutivamente os resultados de Balmer, como enunciados contrastadores das suas teorias, sem o chamado “pioneerismo” de Balmer. É pequena a recompensa, na reconstrução racional da ciência, pelos esforços dos descobridores de “conjecturas ingénias”⁽²⁰⁹⁾.

Na realidade, o problema de Bohr não era explicar as séries de Balmer e Paschen, mas explicar a estabilidade paradoxal do átomo de Rutherford. Além de mais, Bohr nem sequer tinha ouvido falar destas fórmulas antes de escrever a primeira versão do seu texto⁽²¹⁰⁾.

Nem todo o novo conteúdo do primeiro modelo, M_1 de Bohr, se encontrava corroborado. Por exemplo, o M_1 de Bohr pretendia predirer todas as riscas do espectro de emissão do hidrogénio. Mas existia evidência experimental indicativa de uma série de hidrogénio

que não deveria existir, de acordo com o M_1 de Bohr. A série anómala era a série ultravioleta de Pickering-Fowler.

Pickering descobriu esta série em 1869 no espectro da estrela ζ Puppis. Fowler, depois de também ter descoberto a sua primeira riscas no Sol, em 1898, produziu a série completa num tubo de descarga contendo hidrogénio e hélio. Na verdade, podia argumentar-se que a riscas monstruosa não tinha nada a ver com o hidrogénio – no fim de contas, o Sol e ζ Puppis contém muitos gases e o tubo de descarga também continha hélio. De facto, a riscas não podia ser produzida num tubo de hidrogénio puro. Mas a “técnica experimental” de Pickering e Fowler, que conduzia a uma hipótese falsificadora da lei de Balmer, tinha um fundo teórico plausível, embora nunca rigorosamente testado: (a) a sua série tinha o mesmo número de convergência da série de Balmer e por esse motivo foi aceite como uma série de hidrogénio e (b) Fowler forneceu uma explicação plausível da impossibilidade de o hélio ser responsável pela produção da série (211).

Bohr, contudo, não ficou muito impressionado com a “autoridade” dos físicos experimentais. Não questionou a sua “precisão experimental” ou a “fidedignidade das suas observações”, mas questionou a sua teoria observacional. De facto, propôs uma alternativa. Em primeiro lugar, elaborou um novo modelo (M_2) do seu programa de investigação: o modelo de hélio ionizado, com um protão duplo circundado por um electrão. Ora este modelo prediz uma série ultravioleta no espectro do hélio ionizado que coincide com a série de Pickering-Fowler. Isto constituía uma teoria rival. Em seguida, ele sugeriu uma “experiência crucial”: predisse que a série de Fowler se pode produzir, talvez mesmo com riscas mais fortes, num tubo cheio com uma mistura de hélio e cloro. Além disso, Bohr explicou aos experimentalistas, sem sequer examinar os seus aparelhos, o papel catalítico do hidrogénio na experiência de Fowler e do cloro na experiência por ele sugerida (212). De facto, ele estava certo (213). Deste modo, a primeira derrota aparente do programa de investigação transformou-se numa retumbante vitória.

A vitória, contudo, foi imediatamente posta em causa. Fowler reconheceu que a sua série não era uma série de hidrogénio, mas

sim de hélio. Não obstante, ele realçou o facto de o ajustamento da anormalidade operado por Bohr ser ainda insuficiente (214): os comprimentos de onda na série de Fowler divergem significativamente dos valores preditos pelo M_2 de Bohr. Por conseguinte, embora não refute M_1 , a série ainda refuta M_2 , e em virtude da conexão estreita entre M_1 e M_2 , debilita M_1 (215).

Bohr ignorou o argumento de Fowler: nunca teve em mente, certamente, que M_2 fosse levado muito a sério. Os seus valores baseavam-se num cálculo imperfeito apoiado na ideia de um electrão circundando um núcleo fixo; mas, é evidente, ele circunda o centro comum de gravidade: é evidente que se tem de substituir a massa reduzida pela massa, o que se faz quando se trata de problemas que envolvem dois corpos: $m_e = m_e/[1+(m_e/m_n)]$ (216). Este modelo modificado era o M_3 de Bohr. E o próprio Fowler teve de reconhecer que Bohr estava de novo certo (217).

A aparente refutação de M_2 transformou-se numa vitória para M_3 ; e era manifesto que M_2 e M_3 teriam sido desenvolvidas no interior do programa de investigação – talvez até M_1 , ou M_{20} – sem qualquer estímulo proveniente da observação ou da experimentação. Foi nesta fase que Einstein disse acerca da teoria de Bohr: “é uma das maiores descobertas” (218).

O programa de investigação de Bohr prosseguiu então como planeado. O passo seguinte consistia em calcular as órbitas elípticas. Isto foi feito por Sommerfeld em 1915, mas com o resultado (inesperado) do aumento do número de possíveis órbitas estáveis não ter aumentado o número de possíveis níveis de energia, parecendo, portanto, não existir qualquer possibilidade de uma experiência crucial entre as teorias circular e elíptica. Todavia, os electrões circundam o núcleo com uma velocidade muito elevada e por conseguinte, quando aceleram a sua massa, deveria alterar-se de modo perceptível, a ser verdadeira a mecânica einsteiniana. Na realidade, Sommerfeld, ao calcular tais correcções relativísticas, obteve uma nova quantidade de níveis de energia e, por conseguinte, a “estrutura pura” do espectro.

A transição para este novo modelo relativístico exigia muito mais competência e talento matemáticos do que o desenvolvimento

dos primeiros modelos. A descoberta de Sommerfeld foi essencialmente matemática⁽²¹⁹⁾.

Curiosamente, as formas divergentes do espectro do hidrogénio já tinham sido descobertas em 1891 por Michelson⁽²²⁰⁾. Depois da primeira publicação de Bohr, Moseley chamou imediatamente a atenção para o facto de que “ela é incapaz de explicar a segunda riscas mais fraca, observada em todos os espectros”⁽²²¹⁾. Bohr não ficou preocupado: estava convencido de que a heurística positiva do seu programa de investigação explicaria e até corrigiria, *na altura própria*, as observações de Michelson⁽²²²⁾. E assim aconteceu. A teoria de Sommerfeld era, evidentemente, inconsistente com as primeiras versões de Bohr; as experiências relativas à estrutura pura – juntamente com as velhas observações corrigidas – forneciam a evidência crucial a seu favor. Muitas das derrotas dos primeiros modelos de Bohr foram transformadas, por Sommerfeld e pela sua escola de Munique, em vitórias para o programa de investigação de Bohr.

É interessante notar que tal como Einstein começou a ficar inquieto e abrandonou os seus esforços a meio do espectacular progresso da física quântica por volta de 1913, Bohr ficou inquieto e abrandonou os seus esforços por volta de 1916; e tal como Bohr tinha retirado a iniciativa a Einstein em 1913, Sommerfeld retirou-a a Bohr em 1916. A diferença entre a atmosfera da escola de Copenhaga de Bohr e a escola de Munique de Sommerfeld era notável: “Em Munique, usavam-se formulações mais concretas e, por conseguinte, a sua compreensão era mais fácil; tinha-se obtido êxito na sistematização dos espectros e na utilização do modelo vectorial. Em Copenhaga, contudo, acreditava-se que não tinha ainda sido encontrada uma linguagem adequada para os novos fenómenos, era-se reticente perante as formulações demasiado definidas, a expressão era mais cautelosa e recorria em maior grau aos termos gerais e era, por consequência, muito mais difícil de compreender”⁽²²³⁾.

O nosso esboço mostra como uma alteração progressiva pode garantir credibilidade – e uma *base racional* – a um programa inconsistente. Born, no seu obituario de Planck, descreve

energicamente este processo: “É claro que a mera introdução do quantum de acção não significa ainda que se tenha estabelecido uma Teoria dos Quanta verdadeira... As dificuldades que a introdução do quantum de acção, na bem estabelecida teoria clássica, tem encontrado desde o início, já foram indicadas. Não diminuíram, antes aumentaram gradualmente; e embora a investigação não tenha, no decurso do seu avanço, prestado muita atenção a algumas, as lacunas que subsistem na teoria são as mais angustiantes para o físico teórico consciencioso. De facto, o que na teoria de Bohr serviu como base para as leis da acção consiste em determinadas hipóteses que uma geração atrás teriam, sem dúvida, sido redondamente rejeitadas por todos os físicos. Que certas órbitas escolhidas com base no princípio dos quanta devessem desempenhar um papel especial no interior do átomo, podia perfeitamente admitir-se; um pouco mais difícil de aceitar é a suposição adicional de que os electrões em movimento nestas órbitas curvilíneas, e por consequência acelerados, não irradiam energia. Mas a aceitação da diferença entre a frequência nitidamente definida de um quantum de luz emitido e a frequência do electrão emissor seria considerada por um teórico educado na escola clássica, monstruosa e quase inconcebível. Mas os números [ou, antes, as alterações de problemas progressivas] decidem e, por consequência, o feitiço virou-se contra o feiticeiro. Enquanto de início se tratava de uma questão de ajustamento, com o mínimo de choque possível, de um elemento novo e estranho a um sistema já existente e que era geralmente considerado estável, *o intruso, depois de ter conquistado uma posição segura, assumiu presentemente a ofensiva*; e nas circunstâncias actuais parece ser certo que ele está prestes a destruir, a qualquer momento, o velho sistema. A única questão agora é a de saber qual o momento exacto e até que ponto isto acontecerá”⁽²²⁴⁾.

Uma das particularidades mais importantes que ficamos a conhecer devido ao estudo dos programas de investigação é a de que são relativamente poucas as experiências verdadeiramente importantes. A orientação heurística que o físico teórico recebe dos testes e das “refutações” é geralmente tão trivial que a experimentação em grande escala – ou até a demasiada preocupação com

os dados já disponíveis — pode muito bem ser uma perda de tempo. Na maioria dos casos, não necessitamos de refutações que nos manifestem a necessidade urgente de substituição da teoria: a heurística positiva do programa impele-nos, de qualquer maneira, para a frente. Além disso, dar uma “interpretação refutável” severa a uma versão inexperiente de um programa é uma perigosa crueldade metodológica. As primeiras versões podem até “aplicar-se” só a casos “ideais” não existentes; podem ser necessárias décadas de trabalho teórico para chegar aos primeiros factos novos e ainda mais tempo para que surjam versões interessantemente testáveis dos programas de investigação, para chegar ao estádio em que as refutações já não são previsíveis à luz do próprio programa.

A dialéctica dos programas de investigação não é, necessariamente nesse caso, uma sequência alternada de conjecturas especulativas e de refutações empíricas. A interacção entre o desenvolvimento do programa e as verificações empíricas pode ser muito variada — qual o padrão que efectivamente se transforma em realidade depende unicamente do acaso histórico. Citemos três variantes típicas.

(1) Imaginemos que cada uma das três primeiras versões consecutivas, H_1 , H_2 , H_3 , prediz com êxito alguns factos novos e outros sem êxito, ou seja, cada versão é sucessivamente não só corroborada, *mas também* refutada. Finalmente, propõe-se H_4 , que prediz alguns factos novos, mas resiste aos testes mais rigorosos. A alteração de problemas é progressiva e, além disso, deparamos com uma bela alternância popperiana de conjecturas e refutações⁽²²⁵⁾. As pessoas admirarão isto como um exemplo clássico da estreita colaboração entre trabalho teórico e experimental.

(2) Um outro exemplo poderia ter sido o de um Bohr solitário produzindo H_1 , H_2 , H_3 , H_4 (possivelmente, sem a existência anterior de Balmer), mas retendo autocriticamente a divulgação até H_4 . Depois, H_4 é testada: toda a evidência aparecerá como corroborações de H_4 , a primeira (e única) hipótese divulgada. O teórico — na sua mesa de trabalho — é aqui visto a trabalhar muito à frente do experimentalador: temos um período de relativa autonomia do progresso teórico.

(3) Imaginemos agora que *toda* a evidência empírica mencionada nestes três exemplos já existe à época da invenção de H_1 , H_2 , H_3 , H_4 . Neste caso H_1 , H_2 , H_3 , H_4 não representam uma alteração de problemas empiricamente progressiva e, por consequência, embora toda a evidência sustenha as suas teorias, o cientista tem de trabalhar mais de modo a provar o valor científico do seu programa⁽²²⁶⁾. Um tal estado de coisas pode ser provocado quer por todos esses factos terem já sido produzidos por um programa de investigação mais velho (que foi contestado por aquele que conduz a H_1 , H_2 , H_3 , H_4) quer pelo facto de que é muito o dinheiro do governo investido na recolha de dados relativos às riscas do espectro e que foi grosseiramente dividido ao topar com todos os dados.

Todavia, o último caso é extremamente improvável, visto que, como o costumava dizer Cullen, “o número de factos falsos, existentes no mundo, excede infinitamente o número de teorias falsas⁽²²⁷⁾”; na maioria dos casos deste tipo, o programa de investigação estará em desacordo com os “factos” disponíveis, o teórico examinará as “técnicas experimentais” do experimentalista e, depois de derrubar e substituir as suas teorias observacionais, corrigirá os seus factos produzindo desse modo factos *novos*⁽²²⁸⁾.

Depois desta digressão metodológica, regressemos ao programa de Bohr. Nem todos os desenvolvimentos no programa foram previstos e planeados quando se esboçou pela primeira vez a heurística positiva. Quando se tornaram visíveis algumas lacunas curiosas nos modelos sofisticados de Sommerfeld (algumas das riscas preditas nunca surgiram), Pauli propôs uma hipótese auxiliar forte (o seu “princípio de exclusão”) que explicava não só as lacunas conhecidas como também remodelava as linhas gerais da teoria do sistema periódico dos elementos e antecipava factos então desconhecidos.

Não pretendo apresentar aqui uma descrição elaborada do desenvolvimento do programa de Bohr. Mas o seu estudo pormenorizado de um ponto de vista metodológico é uma verdadeira mina de ouro: o seu progresso extraordinariamente rápido — sobre fundamentos inconsistentes — foi surpreendente, a beleza, a

originalidade e o sucesso empírico das suas hipóteses auxiliares, propostas por cientistas brilhantes e até mesmo geniais, não teve precedentes na história da física ⁽²²⁹⁾. Ocasionalmente a versão seguinte do programa exigia unicamente um aperfeiçoamento trivial, como a substituição da massa pela massa reduzida. Às vezes, contudo, chegar à versão seguinte exigia matemáticas novas e sofisticadas, como as matemáticas do problema referente aos múltiplos corpos, ou novas e sofisticadas teorias físicas auxiliares. A matemática e a física adicionais eram extraídas quer de uma parte do conhecimento existente (como a teoria da relatividade) quer inventadas (como o princípio de exclusão de Pauli). No último caso, temos uma “alteração criativa” na heurística positiva.

Mas até mesmo este grandioso programa chegou a um ponto em que o seu poder heurístico se esgotou. As hipóteses *ad hoc* multiplicaram-se e deixaram de poder ser substituídas por explicações produtoras de um aumento do conteúdo. Por exemplo, a teoria de Bohr do espectro (de bandas) molecular predizia a seguinte fórmula para as moléculas diatómicas:

$$\nu = \frac{h}{8\pi^2 I} [(m+1)^2 - m^2].$$

Mas a fórmula foi refutada. Os bohrianos substituíram o termo m^2 por $m(m+1)$: isto adaptava-se aos factos mas era *ad hoc*.

Em seguida surgiu o problema relativo a algumas formas divergentes inexplicadas no espectro do alcali. Landé explicou-as em 1924 através de uma “regra de separação relativista” *ad hoc*; Goudsmit e Uhlenbeck em 1925 pela rotação do electrão. Se a explicação de Landé era *ad hoc*, a de Goudsmit e Uhlenbeck era além disso inconsistente com a teoria da relatividade restrita: os pontos à superfície do enorme electrão tinham de mover-se a uma velocidade superior à da luz e o electrão tinha até de ser maior que o átomo ⁽²³⁰⁾. Era necessária uma coragem considerável para propor esta explicação. (Kronig teve a ideia primeiro, mas absteve-se de a divulgar porque a considerava inadmissível ⁽²³¹⁾).

Mas a temeridade na proposta de inconsistências tempestuosas não voltou a beneficiar de qualquer recompensa. O programa deixou

de acompanhar a descoberta de “factos”. As anomalias não digeridas inundaram o terreno. Com um cada vez maior número de inconsistências e de hipóteses *ad hoc*, tinha chegado a fase degenerativa do programa de investigação: começou – utilizando uma das frases favoritas de Popper – “a perder o seu carácter empírico” ⁽²³²⁾. Além disso, muitos problemas, como a teoria das perturbações, nem sequer podiam esperar obter uma resolução no seu interior. Cedo surgiu um programa de investigação rival: a mecânica ondulatória. O novo programa, mesmo na sua primeira versão (De Broglie, 1924), não só explicava as condições quânticas de Planck e Bohr, como também conduziu a um novo e excitante facto, à experiência de Davison-Gerner. Nas suas versões posteriores e cada vez mais sofisticadas, ele apresentou soluções para problemas que tinham estado completamente fora do alcance do programa de investigação de Bohr, e explicou as teorias *ad hoc* tardias do programa de Bohr por intermédio de teorias que satisfaziam padrões metodológicos elevados. A mecânica ondulatória depressa alcançou, superou e substituiu o programa de Bohr.

O texto de De Broglie surgiu na altura em que o programa de Bohr degenerava. Mas isto foi uma mera coincidência. Sente-se curiosidade em saber o que teria acontecido se De Broglie tivesse escrito e publicado o seu texto em 1914 e não em 1924.

**(d) Uma nova visão das experiências cruciais:
o fim da racionalidade imediata.**

Seria errado supor que se deve manter um programa de investigação até que ele tenha esgotado todo o seu poder heurístico, que não se deve introduzir um programa rival antes da obtenção de um acordo generalizado sobre o provável acesso do programa ao ponto de degenerescência. (Embora se possa compreender a irritação de um físico quando, no meio de uma fase progressiva de um programa de investigação, é confrontado com uma proliferação de teorias metafísicas vagas que não estimulam o progresso empírico ⁽²³³⁾). Nunca se deve admitir que um programa de investigação se transforme numa *Weltanschauung*, ou numa espécie de

inflexibilidade científica, apresentando-se como um árbitro entre a explicação e a não explicação, tal como o rigor matemático o faz entre a demonstração e a não demonstração. Infelizmente, é esta a posição que Kuhn tende a defender: de facto, o que ele chama “ciência normal” não é mais do que um programa de investigação que obteve o monopólio. Mas, na realidade, os programas de investigação só raramente obtiveram o monopólio completo e, nesses casos, só por períodos relativamente curtos, a despeito dos esforços de alguns cartesianos, newtonianos e bohnianos. *A história da ciência tem sido e devia ser uma história de competição entre programas de investigação (ou, se se preferir, “paradigmas”), mas não tem sido e não se deve transformar numa sucessão de períodos de “ciência normal”: quanto mais cedo se inicia a competição, melhor para o progresso.* O “pluralismo teórico” é melhor do que o “monismo teórico”: neste ponto, Popper e Feysabend têm razão e Kuhn está enganado.⁽²³⁴⁾

A ideia da competição entre programas de investigação leva-nos ao problema: *como são eliminados os programas de investigação?* Decorreu das nossas considerações anteriores a ideia de que uma alteração de problemas degenerativa não é uma razão mais suficiente para eliminar um programa de investigação do que uma “refutação” fora de moda ou uma “crise” kuhniana. *Poderá existir qualquer razão objectiva (em contraste com uma razão sociopsicológica) para rejeitar um programa, isto é, para eliminar o seu núcleo firme e o seu plano para a construção de cinturas protectoras?* A nossa resposta, nas suas linhas gerais, é a de que tal razão objectiva é fornecida por um programa de investigação rival que explica o anterior sucesso do seu rival e o suplanta por uma exibição adicional de *poder heurístico*⁽²³⁵⁾.

Todavia, o critério do “poder heurístico” depende fortemente do modo como construímos a “novidade factual”. Até agora, supusemos que se pode verificar imediatamente se uma teoria prediz ou não um facto novo⁽²³⁶⁾. Mas a novidade de uma proposição factual pode frequentemente só ser percebida depois de decorrido um longo período de tempo. Para o mostrar, trarei à baila um exemplo.

A teoria de Bohr implicava logicamente como consequência a fórmula de Balmer para as linhas do hidrogénio⁽²³⁷⁾. Seria isto um facto novo? Poder-se-ia ter sido tentado a negá-lo, visto que no fim de contas a fórmula de Balmer era bem conhecida. Mas isto é uma meia verdade. Balmer apenas “observou” B_1 ; que as linhas de hidrogénio obedecem à fórmula de Balmer. Bohr predisse B_2 ; que as diferenças nos níveis de energia em diferentes órbitas do electrão pode dizer-se que B_1 já contém todo o conteúdo puramente “observacional” de B_2 . Mas fazê-lo pressupõe que pode existir um “nível observacional” puro, não corrompido pela teoria e insensível à mudança teórica. Na realidade, B_1 só foi aceite porque as teorias ópticas, químicas e outras, aplicadas por Balmer se encontravam bem corroboradas e eram aceites como teorias interpretativas; e estas teorias podiam sempre pôr-se em dúvida. Pode argumentar-se que até mesmo B_1 se pode “purgar” das suas pressuposições teóricas, chegando-se assim ao que Balmer realmente “observou”, o que pode ser expresso pela asserção mais modesta, B_0 : que as riscas emitidas em certos tubos em certas circunstâncias bem especificadas (ou no decurso de uma “experimentação controlada”⁽²³⁸⁾) obedecem à fórmula de Balmer. Ora, alguns dos argumentos de Popper mostram que nunca podemos chegar desta maneira a qualquer base “observacional” firme; pode mostrar-se facilmente a interferência das teorias “observacionais” em B_0 ⁽²³⁹⁾. Por outro lado, dado que o programa de Bohr depois de um longo desenvolvimento progressivo, tinha revelado o seu poder heurístico, o seu próprio núcleo firme ter-se-ia tomado bem corroborado⁽²⁴⁰⁾ e, por consequência, qualificado como uma teoria “observacional” ou interpretativa. Mas nesse caso B_2 seria considerada não como uma mera reinterpretação de B_1 , mas como um facto novo de direito próprio.

Estas considerações emprestam uma nova ênfase ao elemento retrospectivo nas nossas apreciações e conduzem a uma liberalização mais alargada dos nossos padrões. Um novo programa de investigação acabado de entrar na competição pode começar por explicar “factos velhos” de uma maneira original, mas pode levar um longo período de tempo antes de ser considerado produtor de

factos “genuinamente novos”. Por exemplo, a teoria cinética do calor pareceu estar atrasada, durante décadas, relativamente aos resultados da teoria fenomenológica, antes de a ter finalmente ultrapassado em 1905 com a teoria de Einstein-Smoluchowski do movimento browniano. Depois disto, o que tinha anteriormente parecido uma reinterpretção especulativa de velhos factos (sobre o calor, etc.) transformou-se numa descoberta de factos novos (sobre átomos).

Tudo isto sugere que não devemos pôr de parte um programa nascente simplesmente porque ele não conseguiu até ao momento ultrapassar um rival poderoso. Não o devíamos abandonar se, supondo que o seu rival não existia, ele constituísse uma deslocação de problemas progressiva ⁽²⁴¹⁾. *E devíamos certamente considerar um facto interpretado de modo novo como um facto novo, ignorando as insolentes pretensões de prioridade dos coleccionadores amadores de factos. Enquanto for possível reconstruir racionalmente, como uma deslocação de problemas progressiva, um programa de investigação nascente, ele deverá ser protegido durante algum tempo de um rival poderoso estabelecido* ⁽²⁴²⁾.

Estas considerações, no seu conjunto, acentuam a importância da tolerância metodológica e deixam sem resposta a questão referente ao modo como são eliminados os programas de investigação. O leitor pode até suspeitar que a demasiada importância conferida à falibilidade liberaliza ou, antes, enfraquece, os nossos padrões, ao ponto de nos identificarmos com o cepticismo radical. Até mesmo as famosas “experiências cruciais” não terão então força para derrubar um programa de investigação; tudo vale ⁽²⁴³⁾.

Mas esta suspeita é infundada. As “experiências cruciais de importância secundária” entre versões subsequentes são bastante comuns dentro de um programa de investigação. As experiências “decidem” facilmente entre a versão científica n e a versão $(n+1)$, visto que a versão $(n+1)$ é não só inconsistente com a versão n , como também a torna inútil. Se a versão $(n+1)$ tem mais conteúdo corroborado à luz do mesmo programa e à luz das mesmas teorias observacionais bem corroboradas, a eliminação é uma questão relativamente rotineira (só relativamente, porque mesmo neste caso esta decisão pode ser sujeita a recurso). Também os procedimentos

de recurso são ocasionalmente fáceis: em muitos casos, a teoria observacional contestada, longe de se encontrar bem corroborada, é na realidade uma suposição “oculta”, ingénua e não articulada; só a contestação é que revela a existência desta suposição oculta e provoca a sua articulação, teste e ruína. Contudo, as teorias observacionais encontram-se elas próprias, repetidas vezes, assentes num programa de investigação e nesse caso o procedimento de recurso conduz a um conflito entre dois programas de investigação: em tais casos podemos ter necessidade de uma “experiência crucial mais importante”.

Quando dois programas de investigação competem, os seus primeiros modelos “ideais” tratam geralmente de aspectos diferentes do seu campo de acção (por exemplo, o primeiro modelo da óptica semicorpuscular de Newton descrevia a refração da luz, o primeiro modelo da óptica ondulatória de Huyghens descrevia a interferência da luz). À medida que os programas de investigação rivais se desenvolvem, invadem gradualmente os territórios mútuos e a versão n do primeiro será, de maneira gritante, dramaticamente inconsistente, com a versão m do segundo ⁽²⁴⁴⁾. Uma experiência é efectuada repetidamente e, como resultado, o primeiro é derrotado *nesta batalha*, enquanto o segundo ganha. Mas *a guerra* não está terminada: são admissíveis, para qualquer programa de investigação, algumas derrotas deste tipo. Tudo o que ele necessita para um regresso é de produzir uma versão produtora de aumento de conteúdo $(n+1)$ ou $(n+k)$ e uma verificação de parte do seu novo conteúdo.

Se um tal regresso, depois de um esforço persistente, não se produz, a guerra está perdida e a experiência original é considerada, *retrospectivamente*, como tendo sido “crucial”. Mas sobretudo se o programa derrotado é um programa jovem e de desenvolvimento rápido, e se decidirmos dar o suficiente crédito aos seus êxitos “pré-científicos”, as alegadas experiências cruciais dissolvem-se uma após outra na esteira das suas vagas futuras. Mesmo se o programa derrotado for um programa velho, estabelecido e “cansado”, próximo do seu “ponto de saturação natural” ⁽²⁴⁵⁾, pode continuar a resistir por um longo período de tempo e manter-se firme com

inovações engenhosas produtoras de aumento do conteúdo, mesmo se estas não são recompensadas com o sucesso empírico. É muito difícil derrotar um programa de investigação apoiado por cientistas talentosos e imaginativos. Alternativamente, os defensores obstinados do programa derrotado podem apresentar explicações *ad hoc* das experiências, ou uma sagaz “redução” *ad hoc* do programa vitorioso ao programa derrotado. Mas tais esforços deveriam ser por nós rejeitados como não científicos (246).

As nossas considerações explicam porque é que as experiências cruciais só são consideradas como tal décadas mais tarde. As elipses de Kepler foram geralmente aceites como evidência crucial favorável a Newton e contra Descartes só cerca de cem anos depois da reivindicação de Newton. O comportamento anómalo do perélio de Mercúrio foi conhecido durante décadas como uma das muitas dificuldades ainda não resolvidas no programa de Newton; mas só o facto de a teoria de Einstein o explicar melhor transformou uma anomalia sem interesse numa “refutação” brilhante do programa de investigação de Newton (247). Young reivindicava que a sua experiência da dupla ranhura de 1802 era uma experiência crucial entre os programas corpuscular e ondulatório da óptica; mas a sua reivindicação só foi reconhecida muito mais tarde, depois de Fresnel desenvolver o programa ondulatório de modo muito mais “progressivo” e se ter tornado claro que os newtonianos não podiam competir com o seu poder heurístico. Anomalia, que fora conhecida durante décadas, recebeu o título honorífico de refutação, a experiência o título honorífico de “experiência crucial”, só depois de um longo período de desenvolvimento desigual dos dois programas rivais. O movimento browniano esteve no meio do campo de batalha durante cerca de um século antes de se considerar como responsável pela derrota do programa de investigação fenomenológico e pela mudança, favorável aos atomistas, do curso da guerra. A “refutação” de Michelson da série de Balmer foi ignorada durante uma geração até que o programa de investigação triunfante de Bohr a apoiou.

Pode valer a pena discutir em pormenor alguns exemplos de experiências, cujo carácter “crucial” só se torna evidente

retrospectivamente. Em primeiro lugar, referirei a célebre experiência de Michelson-Morley de 1887 que alegadamente falsificou a teoria do éter e “conduziu à teoria da relatividade”, depois às experiências de Lummer-Pringsheim que alegadamente falsificaram a teoria clássica da irradiação e “conduziram à teoria dos quanta” (248). Finalmente, discutarei uma experiência que muitos físicos pensaram que viria a ter como resultado uma decisão contra as leis da conservação mas que, na realidade, acabou por ser a mais triunfante corroboração dessas leis.

(41) *A experiência de Michelson-Morley.*

Michelson começou por conceber uma experiência para testar as teorias contraditórias de Fresnel e Stoke sobre a influência do movimento da terra sobre o éter (249), durante a sua visita ao instituto Helmholtz de Berlim em 1881. De acordo com a teoria de Fresnel, a terra move-se através de um éter em repouso, mas o éter ao alcance da terra é *parcialmente* arrastado com a terra; a teoria de Fresnel implicava, por consequência, que a velocidade do éter para além dos limites da terra e relativa à terra era positiva (i.é., a teoria de Fresnel implicava a existência de um “vento de éter”). De acordo com a teoria de Stokes, o éter era arrastado pela terra e directamente à superfície da terra a velocidade do éter era igual à da terra: por conseguinte, a sua velocidade relativa era zero (i.é., não existia vento de éter à superfície). Stokes pensou a princípio que as duas teorias eram observacionalmente equivalentes: por exemplo, com suposições auxiliares apropriadas ambas as teorias explicavam a aberração da luz. Mas Michelson reivindicava que a sua experiência de 1881 era uma experiência crucial entre as duas teorias e que *comprovava* a teoria de Stokes (250). Ele defendia a ideia de que a velocidade da terra relativa ao éter é menor do que a admitida pela teoria de Fresnel. De facto, ele concluiu que da sua experiência “se seguia a *conclusão necessária* de que a hipótese [de um éter imóvel] é errónea. Esta conclusão *contradiz directamente* a explicação do fenómeno da aberração que... pressupõe que a Terra se mova através do éter, permanecendo este em repouso” (251). Como acontece muitas

vezes, foi dada uma lição a Michelson, o experimentador, por um teórico. Lorentz, o físico teórico mais importante da época, numa tomada de posição que Michelson mais tarde descreveu como “uma análise muito rigorosa... da experiência no seu todo”⁽²⁵²⁾, mostrou que Michelson “interpretou mal” os factos e que o que ele observou não contradizia na realidade a hipótese do éter imóvel. Lorentz mostrou que os cálculos de Michelson estavam errados; a teoria de Fresnel só predizia metade do efeito que Michelson tinha calculado. Lorentz concluiu que a experiência de Michelson não refutava a teoria de Fresnel, e que também não comprovava certamente a teoria de Stokes. Lorentz prosseguiu com a demonstração da inconsistência da teoria de Stokes: mostrando que ela supunha que o éter à superfície da Terra se encontrava em repouso com respeito a esta e exigia que a velocidade relativa tivesse um potencial; mas estas duas condições são incompatíveis. Mas mesmo que Michelson tivesse refutado *uma* teoria do éter imóvel, o programa ficaria ileso: podem facilmente imaginar-se várias outras versões do programa do éter, que predizem valores muito pequenos para os ventos do éter, e Lorentz produziu uma sem demoras. Esta teoria era testável e Lorentz submeteu-a orgulhosamente ao veredicto da experiência⁽²⁵³⁾. Michelson, juntamente com Morley, aceitou o desafio. A velocidade relativa da Terra ao éter parecia novamente ser zero, o que era incompatível com a teoria de Lorentz. Por esta altura, Michelson tinha-se tornado mais cauteloso na interpretação dos seus dados e pensou até na possibilidade de que o sistema solar no seu todo se pudesse ter movido na direcção oposta à da Terra; por conseguinte, decidiu repetir a experiência “com intervalos de três meses, evitando assim toda a incerteza”⁽²⁵⁴⁾. Michelson, no seu segundo texto, já não se refere a “conclusões necessárias” e a “contradições directas”. Pensa unicamente que, em virtude da sua experiência, “parece, tendo em conta tudo o que antecede, *razoavelmente certo* que se existe qualquer movimento relativo entre a Terra e o éter luminoso, ele deve ser insignificante; suficientemente pequeno para refutar por completo a explicação de Fresnel da aberração”⁽²⁵⁵⁾. Portanto, no seu texto, Michelson ainda reivindicava ter refutado a teoria de Fresnel (e também a nova teoria de Lorentz); mas não há qualquer referência

à sua velha reivindicacão, de 1881, da refutação “da teoria do éter imóvel”, em geral. (De facto, ele acreditava que para o fazer teria de testar o vento do éter também a grandes altitudes, “no pico de uma montanha isolada, por exemplo”⁽²⁵⁶⁾).

Enquanto alguns teóricos do éter – como Kelvin – não confiavam na “perícia experimental”⁽²⁵⁷⁾ de Michelson, Lorentz chamou a atenção para o facto de que, a despeito da reivindicacão ingénua de Michelson, mesmo a sua *nova* experiência “não provê qualquer evidência para a questão que levou a que ela fosse empreendida”⁽²⁵⁸⁾. Pode perfeitamente considerar-se a teoria de Fresnel como uma teoria *interpretativa* que, em vez de ser refutada pelos factos, antes os interpreta e, nesse caso, mostrou-o Lorentz, “o significado da experiência de Michelson-Morley reside justamente no facto de que ela nos pode ensinar algo sobre *as mudanças nas dimensões*”⁽²⁵⁹⁾: as dimensões dos corpos são afectadas pelo seu movimento através do éter. Lorentz elaborou esta “alteraçã criativa” no interior do programa de Fresnel com grande engenho e pretendeu por esse meio ter “feito desaparecer a contradicção entre a teoria de Fresnel e o resultado de Michelson”⁽²⁶⁰⁾.

Mas admitiu que, “dado que a natureza das forças moleculares nos é completamente desconhecida, é impossível testar a hipótese”⁽²⁶¹⁾: *pelo menos por agora*, ela não podia predizer quaisquer factores novos⁽²⁶²⁾.

Entretanto, em 1897, Michelson empreendeu a sua experiência, há muito planeada, para medir a velocidade do vento de éter no cimo das montanhas. Não observou nada. Dado que tinha antes pensado que havia comprovado a teoria de Stokes, a qual predizia a existência de um vento de éter a grandes altitudes, ficou perplexo. Se, não obstante, a teoria de Stokes estava correcta, o gradiente da velocidade do éter tinha de ser muito pequeno. Michelson teve de concluir que “a influência da Terra sobre o éter se estendia a distâncias da ordem do diâmetro da Terra”⁽²⁶³⁾. Pensou que este era um resultado “improvável” e decidiu considerar como errada a conclusã obtida a partir da sua experiência em 1887; era a teoria de Fresnel que tinha de ser aceite ao passo que a teoria de Stokes tinha de ser rejeitada; e ele decidiu que aceitaria *qualquer* hipótese

auxiliar razoável para a salvar, incluindo a teoria de Lorentz de 1892⁽²⁶⁴⁾. Parecia *agora* dar preferência à contração de Fitzgerald-Lorentz e, cerca de 1904, os seus colegas em Case tentavam descobrir se esta contração varia com diferentes materiais⁽²⁶⁵⁾.

Enquanto a maior parte dos físicos tentaram interpretar as experiências de Michelson no quadro do programa do éter, Einstein, desconhecedor dos trabalhos de Michelson, Fitzgerald e Lorentz, mas estimulado essencialmente pelas críticas de Mach à mecânica newtoniana, chegou a um programa de investigação progressivo e novo⁽²⁶⁶⁾. Este novo programa não só “predisse” e explicou o resultado da experiência de Michelson-Morley como também predisse uma enorme quantidade de factos, anteriormente nem sequer imaginados, que obtiveram corroborações dramáticas. Foi só *nessa altura*, vinte e cinco anos mais tarde, que a experiência de Michelson-Morley veio a ser considerada como “a mais notável experiência negativa na história da ciência”⁽²⁶⁷⁾. Mas isto não podia compreender-se instantaneamente. Mesmo que a experiência fosse negativa, não era manifesto, em relação exactamente a *quê?* Além disso, Michelson supunha em 1881 que ela era também *positiva*: julgava não só ter refutado a teoria de Fresnel como também ter verificado a de Stokes. O próprio Michelson e depois Fitzgerald e Lorentz explicaram o resultado igualmente de *modo positivo* dentro do programa do éter⁽²⁶⁸⁾. Como acontece com todos os resultados experimentais, a sua negatividade relativamente ao velho programa só foi estabelecida *mais tarde*, pela lenta acumulação de tentativas *ad hoc* para a tornar compreensível dentro do velho programa degenerativo e pelo gradual estabelecimento de um novo e vitorioso programa *progressivo*, no qual se constituiu como uma instância positiva. Mas a possibilidade da reabilitação de uma parte do velho programa “degenerativo” nunca podia ser racionalmente excluída.

Só um processo – indefinidamente – longo e extremamente árduo pode estabelecer a anulação de um programa de investigação por um programa rival; e é imprudente utilizar o termo “experiência crucial” irrefletidamente. Mesmo quando um programa de investigação é considerado como tendo sido destruído pelo seu predecessor, não é destruído por uma experiência “crucial”; e mesmo

que alguma experiência crucial venha mais tarde a levantar dúvidas, o novo programa de investigação não pode ser suprimido sem que se verifique uma poderosa vaga de fundo progressiva do velho programa⁽²⁶⁹⁾. A negatividade – e a importância – da experiência de Michelson-Morley residem essencialmente na alteração progressiva no novo programa de investigação, que lhe veio a garantir um poderoso apoio, e a sua “grandeza” é simplesmente um reflexo da grandeza dos dois programas implicados.

Seria interessante fornecer uma análise pormenorizada das alterações rivais implicadas no declínio da prosperidade da teoria do éter. Mas a maioria dos einsteinianos, sob a influência do falsificacionismo ingénuo, ignora simplesmente a fase degenerativa mais interessante, na teoria do éter, depois da “experiência crucial” de Michelson. Eles pensam que a experiência de Michelson-Morley derrotou, sem ajuda, a teoria do éter, cuja tenacidade só era devida ao conservadorismo obscurantista. Por outro lado, este período pós-Michelson da teoria do éter não é investigado *criticamente* pelos antieinsteinianos, os quais pensam que a teoria do éter não sofreu qualquer revés: o que é autêntico na teoria de Einstein encontrava-se essencialmente na teoria do éter de Lorentz e a vitória de Einstein só se deve à moda positivista. Mas, na realidade, a longa série de experiências de Michelson de 1881 a 1935, orientada para testar versões subsequentes do programa do éter, fornece um exemplo fascinante de uma deslocação de problemas degenerativa⁽²⁷⁰⁾. (Mas os programas de investigação podem sair de um fundo degenerativo. É bem conhecido o facto de a teoria do éter de Lorentz poder ser facilmente reforçada de tal modo que se torna, num sentido interessante, equivalente à teoria da inexistência do éter de Einstein⁽²⁷¹⁾). O éter pode ainda voltar a ser postulado, no contexto de uma “deslocação criativa” mais importante⁽²⁷²⁾.

O facto de necessitarmos de uma visão retrospectiva para avaliar as experiências explica porque é que, entre 1881 e 1886, a experiência de Michelson nem sequer foi mencionada na literatura especializada. De facto, quando Poitier, um físico francês, chamou a atenção de Michelson para o seu erro de 1881, este decidiu não publicar uma rectificação. Explicou a razão desta decisão numa

carta a Rayleigh de Março de 1887: “Tenho tentado repetidas vezes deparar o interesse dos meus amigos cientistas por esta experiência sem proveito, e a razão para nunca ter publicado a recificação (tenho vergonha de o confessar) foi o meu desânimo face à pouca atenção que o trabalho recebeu, e o facto de não ter considerado que isso valesse a pena”⁽²⁷³⁾. Esta carta, incidentalmente, era uma resposta a uma carta de Rayleigh que chamava a atenção de Michelson para o texto de Lorentz. Esta carta despoletou a experiência de 1887. Mas mesmo depois de 1887, e até mesmo depois de 1905, a experiência de Michelson-Morley não era geralmente considerada como uma refutação da existência do éter, e com bons motivos. Isto pode explicar porque é que Michelson foi galardoado com o prémio Nobel (em 1907) não pela “refutação da teoria do éter”, mas pelos “seus instrumentos de precisão óptica e pelas investigações metodológicas e espectroscópicas levadas a cabo com a auxílio desses instrumentos”⁽²⁷⁴⁾; e porque é que a experiência de Michelson-Morley nem sequer foi mencionada nos discursos de apresentação. Michelson não a mencionou na sua *preleção do Nobel*; e silenciou o facto de que embora ele pudesse ter original-mente concebido os seus instrumentos para medir com precisão a velocidade da luz, foi obrigado a melhorá-los com a finalidade de testar algumas teorias específicas do éter e que a “precisão” da sua experiência de 1887 se devia em larga medida às críticas teóricas de Lorentz: um facto que a literatura contemporânea clássica nunca menciona⁽²⁷⁵⁾.

Finalmente, tende-se a esquecer que mesmo que a experiência de Michelson-Morley tivesse revelado a existência de um “vento de éter”, o programa de Einstein poderia mesmo assim ter sido vitorioso. Quando Miller⁽²⁷⁶⁾, um ardente defensor do programa clássico do éter, publicou a sua sensacional reivindicação de que a experiência de Michelson-Morley tinha sido conduzida sem cuidado e que na realidade *existia* um vento de éter, o correspondente da *Science* afirmou exultante que “os resultados do professor Miller suprimem radicalmente a teoria da relatividade”. Do ponto de vista de Einstein, contudo, mesmo que Miller tivesse descrito o autêntico estado das coisas “[só] a *presente forma* da teoria da relatividade” teria de ser abandonada⁽²⁷⁷⁾. Na realidade, Synge chamou a atenção

para o facto de os resultados de Miller, mesmo se se acreditasse na sua aparência, não serem incompatíveis com a teoria de Einstein: só a explicação que deles é fornecida por Miller o é. Pode facilmente substituir-se a teoria auxiliar existente dos corpos rígidos por uma nova, a teoria de Gardner-Synge, e nesse caso os resultados de Miller são totalmente assimilados no interior do programa de Einstein⁽²⁷⁸⁾.

(d 2) *As experiências de Lummer-Pringsheim.*

Discutamos outra alegada experiência crucial. Planck afirmava que as experiências de Lummer e Pringsheim, as quais, na viragem do século, “*refutaram*” as leis da radiação de Wien, Rayleigh e Jeans, “*conduziram*” – ou “até originaram” – à teoria dos quanta⁽²⁷⁹⁾. Mas de novo o papel destas experiências é muito mais complicado e bastante concordante com a nossa perspectiva. Não se trata simplesmente do facto de as experiências de Lummer e Pringsheim serem termo à perspectiva clássica, sendo não obstante explicadas com simplicidade pela física quântica. Por um lado, algumas das primeiras versões de Einstein da teoria dos quanta *implicam* a lei de Wien e, por consequência, tal como acontecia com a teoria clássica, eram refutadas pelas experiências de Lummer e Pringsheim⁽²⁸⁰⁾. Por outro lado, eram apresentadas algumas explicações clássicas para a fórmula de Planck. Por exemplo, no encontro de 1913 da British Association for the Advancement of Science, realizou-se um encontro especial sobre a radiação, em que participaram, entre outros, Jeans, Rayleigh, J. J. Thomson, Larmor, Rutherford, Bragg, Poynting, Lorentz, Pringsheim e Bohr. Pringsheim e Rayleigh mantiveram uma atitude deliberadamente neutral sobre as especulações teóricas quânticas, mas o professor Love “representou os velhos pontos de vista, e defendeu a possibilidade de explicar os factos sobre a radiação, sem adoptar a teoria dos quanta. Criticou a aplicação da divisão equitativa da teoria da energia, sobre a qual assenta parte da teoria dos quanta. A evidência para a teoria quântica do máximo de peso consiste no acordo com a experiência da fórmula de Planck para a emissividade de um corpo opaco. Do ponto de vista matemático, podem existir

muitas outras fórmulas que apresentariam igualmente um bom acordo com as experiências. Foi considerada uma fórmula devida a A. Korn, que abarcava uma grande gama de resultados, mostrando um acordo com a experiência quase tão bom como o da fórmula de Planck. Na sequência da discórdia e defendendo que *os recursos da teoria vulgar não estão ainda esgotados*, ele chamou a atenção para o facto de poder ser possível alargar os cálculos para a emissividade de uma chapa fina, devidos a Lorentz, a outros casos. Para este cálculo nenhuma expressão analítica simples representa os resultados sobre a gama total dos comprimentos de onda, e pode muito bem acontecer que no caso geral não exista qualquer fórmula simples aplicável a todos os comprimentos de onda. A fórmula de Planck pode, na realidade, não ser mais do que uma fórmula empírica ⁽²⁸¹⁾. Um exemplo de explicações clássicas devia-se a Callendar: "O desacordo com a experiência da fórmula bem conhecida de Wien, para a transformação da energia em radiação total, é rapidamente explicado se supusermos que representa apenas a energia intrínseca. O valor correspondente da pressão é facilmente deduzível por referência ao princípio de Carnot, como o indicou Lord Rayleigh. A fórmula que propôs (*phil. Mag.* Outubro de 1913) consiste simplesmente na soma da pressão e da densidade de energia assim obtidas, e produz um acordo muito satisfatório com a experiência, tanto para a radiação como para o calor específico. Prefiro-a à fórmula de Planck (entre outras razões) em virtude de esta não se poder reconciliar com a termodinâmica clássica, e implicar a concepção de um quantum, ou unidade de acção indivisível, que é impensável. A grandeza física correspondente na minha teoria, a que chamei noutra lugar uma molécula calórica, não é necessariamente indivisível, mas mantém uma relação muito simples com a energia intrínseca de um átomo, que é tudo o que se exige para explicar o facto de a radiação poder ser emitida, em casos especiais, em unidades atómicas que são múltiplos de uma grandeza particular." ⁽²⁸²⁾

Estas citações podem ter sido enfadonhamente longas mas, pelo menos, mostram de novo e de modo convincente a inexistência de experiências cruciais instantâneas. As refutações de Lummer e

Pringsheim não eliminaram a abordagem clássica do problema da radiação. A situação pode descrever-se melhor chamando a atenção para o facto de a fórmula "*ad hoc*" original de Planck ⁽²⁸³⁾ – que se adaptava (e corrigia) aos dados de Lummer e Pringsheim – se poder explicar *progressivamente* dentro do novo programa teórico quântico ⁽²⁸⁴⁾, ao passo que nem a sua fórmula "*ad hoc*", nem os seus rivais "semi-empíricos" se podiam explicar dentro do programa clássico, excepto à custa de uma deslocação de problemas degenerativa. O desenvolvimento "progressivo" dependeu, incidentalmente, de uma "alteração criativa": a substituição (por Einstein) da estatística de Boltzman-Maxwell pela de Bose-Einstein ⁽²⁸⁵⁾. A progressividade do novo desenvolvimento era muito clara: na versão de Planck, predizia correctamente o valor da constante de Boltzman-Planck e, na versão de Einstein, predizia uma série assombrosa de factos novos suplementares ⁽²⁸⁶⁾. Mas antes da invenção de novas – mas tristemente *ad hoc* – hipóteses auxiliares no velho programa, antes do desenvolvimento do novo programa, e antes da descoberta dos novos factos indicativos de uma deslocação de problemas progressiva neste último, a importância objectiva das experiências de Lummer-Pringsheim era muito limitada.

(d 3) *O enfraquecimento da radiação beta
contra as leis da conservação.*

Finalmente, relatarei uma história de uma experiência que esteve prestes a tornar-se "a mais notável experiência negativa na história da ciência". A história ilustra de novo as dificuldades extremas na decisão precisa sobre aquilo que se aprende com a experiência, o que ela "comprova" e o que ela "refuta". O exemplo escolhido a submeter a um exame minucioso será a "observação" em 1914, por Chadwick, do enfraquecimento da radiação beta. A história mostra como uma experiência pode ser considerada a princípio como expressão de um *puzzle* rotineiro no interior de um programa de investigação, sendo depois promovida à posição de "experiência crucial" e, mais tarde ainda, rebaixada à expressão de um (*novos*) *puzzle* rotineiro, tudo isto dependendo da *totalidade* da

paisagem teórica e empírica em mutação. A maior parte das explicações convencionais são arruinadas por estas mudanças, preferindo falsificar a história⁽²⁸⁷⁾.

Quando Chadwick descobriu, em 1914, o espectro contínuo da emissão beta radioactiva, ninguém pensou que este fenómeno curioso tivesse algo a ver com as leis da conservação. Duas explicações rivais e engenhosas foram apresentadas em 1922, ambas com base na física atómica da época, uma por L. Meitner, a outra por C. D. Ellis. De acordo com a senhora Meitner, os electrões eram em parte electrões primários do núcleo e em parte electrões secundários, exteriores ao núcleo. De acordo com o senhor Ellis todos os electrões eram primários. Ambas as teorias continham hipóteses auxiliares sofisticadas, não obstante ambas prediziam factos novos. Os factos preditos eram mutuamente contraditórios e o testemunho experimental favorecia Ellis contra Meitner⁽²⁸⁸⁾. A senhora Meitner interpôs recurso; o “tribunal de recurso” experimental recusou-se a apoiá-la, mas resolveu que uma das hipóteses auxiliares cruciais na teoria de Ellis tinha de ser rejeitada⁽²⁸⁹⁾. O resultado da controvérsia foi um empate.

Todavia, ninguém teria pensado que a experiência de Chadwick se opunha à lei da conservação da energia, se Bohr e Kramers não tivessem chegado à ideia, precisamente na altura da controvérsia Ellis-Meitner, de que uma teoria consistente só se poderia desenvolver se eles renunciasssem ao princípio de conservação da energia em processos singulares. Uma das características mais importantes da fascinante teoria de 1924 de Bohr-Kramers-Slater foi a substituição das leis clássicas da conservação da energia e da quantidade de movimento por leis estatísticas⁽²⁹⁰⁾. Esta teoria (ou antes, “programa”) foi imediatamente “refutada” e nenhuma das suas consequências foi corroborada; na realidade, nunca foi suficientemente desenvolvida para explicar o enfraquecimento da radiação beta. Mas apesar do imediato abandono deste programa (não só por causa das suas “refutações” pelas experiências de Compton-Simon e Bothe-Geiger, mas também em virtude da emergência de um rival poderoso: o programa de Heisenberg-Schrodinger⁽²⁹¹⁾), Bohr continuou convencido de que as leis não

estatísticas da conservação teriam finalmente de se abandonar, e de que a anomalia do enfraquecimento da radiação beta seria considerada como uma experiência crucial contra as leis da conservação, visto que nunca se poderia explicar enquanto estas leis não fossem substituídas. Gamow relata-nos o modo como Bohr tentou usar a ideia da não conservação da energia no enfraquecimento da radiação beta para fornecer uma explicação para a aparente produção eterna de energia nas estrelas⁽²⁹²⁾.

Somente Pauli, no seu anseio mefistofélico de desafiar Deus, permaneceu conservador⁽²⁹³⁾ e concebeu, em 1930, a sua teoria do neutrino de modo a explicar o enfraquecimento da radiação beta e a salvar o princípio de conservação da energia. Comunicou a sua ideia numa carta jocosa enviada a uma conferência em Tübinga – ele próprio preferiu ficar em Zurique para ir a um baile⁽²⁹⁴⁾. Referiu-se a ela pela primeira vez numa conferência pública em 1931 em Pasadena, mas não consentiu na publicação da conferência porque se sentia “inseguro” sobre o seu conteúdo. Nessa altura (em 1932), Bohr ainda pensava que pelo menos na física nuclear se poderia ter de “renunciar à própria ideia de equilíbrio da energia”⁽²⁹⁵⁾. Pauli decidiu finalmente publicar a sua palestra sobre o neutrino proferida na conferência de Solvay em 1933, apesar do facto de “a aceitação no congresso, excepção feita a dois jovens físicos, ter sido céptica”⁽²⁹⁶⁾. Mas a teoria de Pauli tinha alguns méritos metodológicos. Salvava não só o princípio de conservação da energia, mas também o princípio de conservação do *spin* e da estatística: explicava não só o espectro do enfraquecimento da radiação beta como, em simultâneo, a “anomalia do azoto”⁽²⁹⁷⁾. De acordo com os padrões *whewellianos*, esta “debilitação das induções” teria sido suficiente para estabelecer a respeitabilidade da teoria de Pauli. Mas, de acordo com os nossos critérios, era necessária a predição bem sucedida de um facto *novus*. Também isto era fornecido pela teoria de Pauli. A teoria de Pauli apresentava uma interessante consequência observável: se estivesse correcta, os espectros- β tinham de apresentar um limite máximo nítido. Este problema não encontrou à época resposta, mas Ellis e Mott interessaram-se por ele⁽²⁹⁸⁾ e em breve um aluno de Ellis, Henderson, mostrou que as experiências

sustentavam o programa de Pauli (299). Bohr não ficou impressionado. Ele sabia que se um programa importante baseado na conservação estatística da energia iniciasse alguma vez a sua actividade, o crescimento do escudo de hipóteses auxiliares encarregar-se-ia devidamente da evidência aparentemente mais negativa.

De facto, por esta época, a maior parte dos físicos mais importantes pensava que na física nuclear as leis da conservação da energia e da quantidade de movimento falhavam (300). A causa foi claramente exposta por Lise Meitner, que só admitiu a derrota em 1933: "Todas as tentativas para manter a validade da lei da conservação da energia, aplicando-a também aos processos *singulares*, exigiam um segundo processo [no enfraquecimento da radiação beta]. Mas tal processo não foi descoberto" (301): isto é, o programa de conservação para o núcleo mostrava uma alteração de problemas empiricamente degenerativa. Foram várias as tentativas engenhosas de explicar o espectro contínuo da emissão beta, sem presumir a existência de uma "partícula ladra" (302). Estas tentativas foram discutidas com grande interesse (303), mas foram abandonadas porque não possibilitavam o estabelecimento de uma alteração progressiva.

Nesta altura, Fermi entrou em cena. Em 1933-4, reinterpretou o problema da emissão beta no contexto do programa de investigação da nova teoria dos quanta. Início deste modo um novo pequeno programa de investigação do neutrino (que se tornou mais tarde o programa das interações fracas). Ele calculou alguns modelos iniciais toscos (304). Embora a sua teoria não predissesse qualquer facto novo, ele foi claro na afirmação de que isso dependia simplesmente de algum trabalho futuro.

Passaram-se dois anos sem que a promessa de Fermi fosse cumprida. Não obstante, o novo programa da física quântica desenvolveu-se rapidamente, pelo menos no que diz respeito aos fenómenos não nucleares. Bohr persuadiu-se de que algumas das ideias básicas iniciais do programa de Bohr-Kramers-Slater se encontravam agora firmemente implantadas no novo programa dos quanta e que o novo programa resolvia os problemas teóricos

intrínsecos do velho programa dos quanta, sem perturbar as leis da conservação. Por consequência, Bohr acompanhou o trabalho de Fermi com simpatia e em 1930, numa sequência pouco habitual de acontecimentos, deu-lhe, do nosso ponto de vista prematuramente, o seu apoio público.

Em 1936, Shankland concebeu um novo teste de teorias rivais da difusão dos fótons. Os seus resultados pareciam apoiar a teoria posta de parte de Bohr-Kramers-Slater e minar a confiança nas experiências que, mais de uma década antes, a tinham refutado (305). A comunicação de Shankland teve um efeito sensacional. Os físicos que detestavam a nova orientação foram rápidos em aclamar a experiência de Shankland. Dirac, por exemplo, acolheu imediatamente o retorno do programa "refutado" de Bohr-Kramers-Slater, escreveu um artigo cáustico contra a "chamada electrodinâmica quântica" e exigiu "uma profunda modificação nas ideias teóricas correntes, tendo como consequência um afastamento relativamente às leis da conservação [de modol] a obter uma mecânica quântica relativista satisfatória" (306). No artigo, Dirac sugeria de novo que o enfraquecimento da radiação beta poderia muito bem vir a ser um exemplo de evidência crucial contra as leis da conservação e troço da "nova partícula não observável", o neutrino, postulada particularmente por alguns investigadores como uma tentativa de preservar formalmente a conservação da energia, supondo que a partícula não observável rompia o equilíbrio" (307). Peierls juntou-se logo de seguida à discussão. Sugeriu que a experiência de Shankland poderia vir até a refutar a conservação estatística da energia. Ele acrescentou: "Também isso parece satisfatório, uma vez que a conservação circunstanciada tenha sido abandonada" (308).

No instituto de Copenhaga de Bohr, as experiências de Shankland foram imediatamente repetidas e postas de parte. Jacobsen, um colega de Bohr, dá conta deste facto numa carta à *Nature*. Os resultados de Jacobsen foram acompanhados por uma carta do próprio Bohr, que se opôs publicamente com firmeza aos rebeldes, defendendo o novo programa quântico de Heisenberg. Em particular, defendeu publicamente o neutrino contra Dirac: "pode observar-se que as bases para que se levantem sérias dúvidas

no que respeita à validade estrita das leis da conservação, no problema da emissão dos raios β a partir dos núcleos atômicos, se encontram hoje em dia eliminadas amplamente pelo sugestivo acordo entre a evidência experimental em rápido crescimento respeitante aos fenómenos da radiação β e as consequências das hipóteses do neutrino de Pauli tão admiravelmente desenvolvidas na teoria de Fermi?⁽³⁰⁹⁾.

A teoria de Fermi, nas suas primeiras versões, não obteve qualquer êxito empírico assinalável. De facto, até mesmo os dados disponíveis, particularmente no caso de *RaE*, no qual se centrava então a investigação sobre a emissão beta, contradiziam nitidamente a teoria de Fermi de 1933-4. Ele pretendia ocupar-se destes dados na segunda parte do seu ensaio que, contudo, nunca foi publicado. Mesmo que se interprete a teoria de Fermi de 1933-4 como uma primeira versão de um programa flexível, por volta de 1936 não se podia detectar qualquer sinal sério de uma alteração progressiva⁽³¹⁰⁾. Mas Bohr queria apoiar com a sua *autoridade* a audaciosa aplicação de Fermi do novo e importante programa de Heisenberg ao núcleo; e visto que a experiência de Shankland e o ataque de Dirac e Peierls fizeram do enfraquecimento da radiação beta o foco da crítica do novo e importante programa, ele elogiou de modo excessivo o programa do neutrino de Fermi que prometia preencher uma lacuna delicada. O desenvolvimento posterior poupou Bohr, sem dúvida, a uma dramática humilhação: os programas baseados nos princípios da conservação progrediram, enquanto no campo rival não se assistiu a qualquer progresso⁽³¹¹⁾.

A moral desta história consiste em mostrar de novo que a atribuição da categoria de “crucial” a uma experiência depende da situação da competição teórica na qual ela se encontra assente. A interpretação e a apreciação da experiência pode mudar conforme crescem e diminuem os resultados afortunados dos campos rivais.

O nosso folclore científico está contido impregnado de teorias da racionalidade imediata. A história que relatei é falsificada na maioria dos relatos e reconstruída em termos de uma qualquer teoria falsa da racionalidade. Até mesmo as melhores exposições populares estão cheias de tais falsificações. Mencionarei dois exemplos.

Num ensaio ficamos a saber o que se segue sobre o enfraquecimento da radiação beta: “Quando esta situação se encanou pela primeira vez, as alternativas afiguravam-se lígubres. Ou os físicos tinham de aceitar um colapso da lei da conservação da energia, ou tinham de supor a existência de uma partícula nova e invisível. Semelhante partícula, emitida em conjunto com o próton e o electrão ao desintegrar-se o neutrão, podia salvar o sustentável central da física arrebataando a energia em falta. Isto aconteceu no início da década de 30, quando a introdução de uma nova partícula não era, como acontece hoje em dia, uma questão fortuita. Apesar disso, os físicos escolheram a segunda alternativa, *depois de uma muito breve hesitação*”⁽³¹²⁾. É evidente que até mesmo as alternativas discutidas foram muito mais que duas e que a “hesitação” não foi com certeza “muito breve”.

Num conhecido manual de filosofia da ciência, somos informados de que: (1) “a lei (ou princípio) da conservação da energia foi seriamente contestada pelas experiências sobre o enfraquecimento da radiação beta, cujos resultados não podiam ser negados”; (2) “não obstante, a lei não foi abandonada, e a existência de uma entidade de tipo novo (chamada um “neutrino”) foi suposta de modo a estabelecer o acordo entre a lei e os dados experimentais”; e (3) “a base racional para esta suposição consiste no facto de que a rejeição da lei da conservação privaria uma grande parte do nosso conhecimento físico da sua coerência sistemática”⁽³¹³⁾. Mas os três pontos estão errados: (1) é falso porque nenhuma lei pode ser “seriamente contestada” só por experiências; (2) é falso porque as novas hipóteses *científicas* se supõem não só com o fim de remendar os conflitos entre os dados e a teoria, mas também para predizer factos novos; e (3) é falso porque na altura parecia que só a rejeição da lei da conservação poderia assegurar a “coerência sistemática” do nosso conhecimento físico.

(d4) *Conclusão.* A exigência de um desenvolvimento contínuo.

Não existem experiências cruciais, pelo menos se se pretende que estas sejam experiências capazes de destruir *imediatamente*

um programa de investigação. Na realidade, quando um programa de investigação sofre uma derrota e é substituído por outro, podemos – *recorrendo a uma visão retrospectiva perspicaz* – chamar a uma experiência crucial se ela surgir como tendo proporcionado uma instância corroboradora espectacular para o programa vitorioso e um desaire para o programa derrotado (no sentido em que nunca foi “explicada progressivamente” – ou, para sermos mais concisos, “explicada”⁽³¹⁴⁾ – no interior do programa derrotado). Mas os cientistas, como é evidente, nem sempre julgam as situações heurísticas correctamente. Um cientista impetuoso pode *pretender* ter derrotado um programa com a sua experiência, e partes da comunidade científica podem mesmo, precipitadamente, aceitar a sua pretensão. Mas se um cientista no campo “derrotado” propõe, poucos anos mais tarde, uma explicação científica para a alegada “experiência crucial” dentro (ou consistente com) do programa alegadamente derrotado, *o título honorífico pode ser retirado e a “experiência crucial pode transformar-se, de derrota, em nova vitória para o programa*.

Os exemplos abundam. Existiram muitas experiências no século XVIII que foram, no que respeita à realidade histórico-sociológica, largamente aceites como evidência “crucial” contra a lei de Galileu da queda dos graves e a teoria da gravitação de Newton. No século XIX, existiram várias “experiências cruciais” baseadas em medições da velocidade da luz que “refutavam” a teoria corpuscular e que mais tarde se demonstraram erróneas à luz da teoria da relatividade. Estas “experiências cruciais” foram mais tarde apagadas dos manuais justificacionistas como manifestações de uma vergonhosa visão acanhada ou mesmo de despeito. (Recentemente, reapareceram em alguns novos manuais, desta vez para ilustrarem a inelutável irracionalidade das modas científicas.) Contudo, nos casos em que as experiências aparentemente “cruciais” foram de facto *posteriormente* confirmadas pela derrota do programa, os historiadores acusaram aqueles que lhes resistiram de estupidez, inveja, ou bajulação injustificada do responsável pelo programa de investigação em questão. (Os “sociólogos do conhecimento” em voga – ou “psicólogos do conhecimento” – tendem a explicar as

posições em termos puramente sociais ou psicológicos quando, na realidade, elas são determinadas por princípios da racionalidade. Um exemplo típico é a explicação da oposição de Einstein ao princípio da complementaridade de Bohr com base no facto de que “em 1926 Einstein tinha quarenta e sete anos. Quarenta e sete pode corresponder à primavera da vida, mas não para os físicos”⁽³¹⁵⁾.

À luz das minhas considerações, a ideia de racionalidade imediata pode considerar-se como utópica. Mas esta ideia utópica é um traço distintivo da maior parte das correntes da epistemologia. Os justificacionistas pretendiam que as teorias científicas fossem comprovadas antes mesmo da sua divulgação; os probabilistas esperavam que uma máquina pudesse indicar imediatamente o valor (o grau de confirmação) de uma teoria, dada a evidência; os falsificacionistas ingénuos esperavam que a eliminação fosse, pelo menos, o resultado imediato do veredicto da *experiência*⁽³¹⁶⁾. Espero ter mostrado que *todas estas teorias da racionalidade imediata – e do conhecimento imediato – falham*. Os exames de casos deste capítulo mostram que a racionalidade opera muito mais lentamente do que a maioria das pessoas tendem a considerar, e, mesmo assim, falivelmente. A coruja de Minerva voa ao anoitecer. Espero também ter mostrado que a *continuidade* em ciência, a *tenacidade* de algumas teorias, a racionalidade de uma certa quantidade de dogmatismo, só podem explicar-se se interpretarmos a ciência como um campo de baralha, não de teorias isoladas mas antes de programas de investigação. Pode perceber-se muito pouco o desenvolvimento da ciência quando o nosso paradigma para um exemplo de conhecimento científico é uma teoria isolada como “Todos os cisnes são brancos”, que se mantém distante, sem se encontrar assente em qualquer programa de investigação mais importante. *A minha explicação implica um novo critério de demarcação entre “a ciência madura”, que consiste em programas de investigação, e a “ciência não madura”, que consiste num ideal meramente esboçado de ensaio e erro*⁽³¹⁷⁾. Podemos, por exemplo, ter uma conjectura, refutá-la e depois salvá-la por recurso a uma hipótese auxiliar que não seja *ad hoc* nos sentidos previamente discutidos. Ela pode predizer factos novos, alguns dos quais podem

até ser corroborados ⁽³¹⁸⁾. Contudo, tal “progresso” pode alcançar-se com uma série arbitrária de teorias desconexas e deficientemente articuladas. Os bons cientistas não considerarão esse progresso temporário satisfatório; podem até rejeitá-lo como não genuinamente científico. Considerarão essas hipóteses auxiliares como meramente “formais”, “arbitrárias”, “empíricas”, “semi-empíricas”, ou até mesmo “*ad hoc*” ⁽³¹⁹⁾.

A ciência madura consiste em programas de investigação que antecipam não só factos novos mas também, num sentido importante, novas teorias auxiliares; a ciência madura – ao contrário do trivial ensaio e erro – tem poder “heurístico”. Recordemos que na heurística positiva de um poderoso programa de investigação existe, logo de início, um plano geral para a construção de cinturões protectoras: este poder heurístico suscita a *autonomia da ciência teórica* ⁽³²⁰⁾.

Esta exigência de desenvolvimento contínuo é a minha reconstrução racional da exigência amplamente reconhecida de “unidade” ou “beleza” da ciência. Revela a fragueza de dois tipos de teorização – aparentemente muito diferentes. Em primeiro lugar, mostra a fragueza de programas que, como o marxismo ou o freudismo, se encontram, sem dúvida, “unificados”, que fornecem uma ideia geral importante do tipo de teorias auxiliares que vão utilizar para absorver anomalias, mas que infalivelmente concebem as suas teorias auxiliares reais a reboque dos factos sem, em simultâneo, anteciparam outros. (Qual o facto *ново предидо* pelo marxismo desde, digamos, 1917?) Em segundo lugar, ataca as séries de ajustamentos “empíricos” triviais, desprovidas de imaginação e mal articuladas, que são muito frequentes, por exemplo, na moderna psicologia social. Tais ajustamentos podem, com a ajuda das chamadas “técnicas estatísticas”, produzir algumas predições “novas” e podem até apresentar como que por milagre alguns resíduos irrelevantes de verdade. Mas esta teorização não apresenta qualquer ideia unificadora, poder heurístico ou continuidade. Esses ajustamentos não se juntam num programa de investigação genuíno e são, na sua totalidade, inúteis ⁽³²¹⁾.

A minha explicação da racionalidade científica, embora baseada

na de Popper, afasta-se de algumas das suas ideias gerais. Aprovo até certo ponto tanto o convencionalismo de Le Roy no que diz respeito às teorias como o convencionalismo de Popper no que respeita às proposições básicas. Deste ponto de vista, os cientistas (e também os matemáticos, como o mostrei ⁽³²²⁾ não agem irracionalmente quando tendem a ignorar os contra-exemplos ou, como os preferem chamar, instâncias “recalcitrantes” ou residuais, seguindo a sequência de problemas da maneira prescrita pela heurística positiva do seu programa, e elaborando – e aplicando – as suas teorias sem ligarem importância ⁽³²³⁾. Contrariamente à moralidade falsificacionista de Popper, os cientistas reivindicam *rationalmente* e com frequência “que os resultados experimentais não são de confiança, ou que as discrepâncias que se afirmam existem entre os resultados experimentais e a teoria são unicamente aparentes e desaparecerão com o avanço da nossa compreensão” ⁽³²⁴⁾. Ao fazerem isto, podem não estar a “adoptionar o reverso da atitude crítica que... é a indicada para um cientista” ⁽³²⁵⁾. De facto, Popper está certo ao accentuar que “a atitude dogmática de aderir a uma teoria tanto tempo quanto possível tem um significado considerável. Sem ela, nunca poderíamos descobrir o que existe numa teoria – abandonaríamos a teoria antes de termos uma oportunidade real de verificar a sua força; e, por consequência, nenhuma teoria seria alguma vez capaz de desempenhar o seu papel de trazer a ordem ao mundo, de nos preparar para acontecimentos futuros, de chamar a nossa atenção para acontecimentos que, de outro modo, nunca observaríamos” ⁽³²⁶⁾. Assim, o “dogmatismo” da “ciência normal” não impede o desenvolvimento desde que o combinemos com o reconhecimento popperiano de que existe uma ciência normal progressiva boa, e desde que mantenhamos a *determinação* de eliminar, sob certas condições objectivamente definidas, alguns programas de investigação.

A atitude dogmática em ciência – que explicaria os seus períodos de estabilidade – foi descrita por Kuhn como uma característica fundamental da “ciência normal” ⁽³²⁷⁾. Mas o esquema conceptual de Kuhn para tratar da continuidade em ciência é sócio-psicológico: o meu é normativo. Vejo a continuidade na ciência

através de “óculos popperianos”. Onde Kuhn descobre “paradigmas” eu vejo também “programas de investigação” racionais.

4. O programa de investigação popperiano contra o programa de investigação kuhniano

Resumamos agora a controvérsia Kuhn-Popper.

Mostramos que Kuhn tem razão ao discordar do falsificacionismo ingênuo, e também ao acentuar a *continuidade* do desenvolvimento científico, a *tenacidade* de algumas teorias científicas. Mas Kuhn está enganado ao pensar que, pelo facto de se desfazer do falsificacionismo ingênuo, se descartou de todos os tipos de falsificacionismo. Kuhn discorda por inteiro do programa de investigação popperiano, e exclui *qualquer* possibilidade de uma reconstrução racional do desenvolvimento da ciência. Numa comparação sucinta de Hume, Carnap e Popper, Watkins chama a atenção para o facto de que o desenvolvimento da ciência é indutivo e irracional segundo Hume, indutivo e racional segundo Carnap, e não indutivo e racional segundo Popper (328). Mas a comparação de Watkins pode estender-se se acrescentarmos que o desenvolvimento da ciência é não indutivo e irracional segundo Kuhn. *Do ponto de vista de Kuhn, não pode existir uma lógica da descoberta, mas somente uma psicologia* (329). De acordo com a concepção de Kuhn, por exemplo, as anomalias, as inconsistências abundam *sempre* na ciência, mas, nos períodos “normais”, o paradigma dominante assegura um padrão de desenvolvimento que é eventualmente derribado por uma “crise”. Não existe qualquer causa racional particular para o aparecimento de uma “crise” kuhniana. “Crise” é um conceito psicológico; é um pânico contagioso. Em seguida, emerge um novo “paradigma”, não comparável com o seu antecessor. Não existem padrões racionais que permitam a sua comparação. Cada paradigma contém os seus próprios padrões. A crise arrasa não só as velhas teorias e regras, mas também os padrões que nos levaram a respeitá-las. O novo paradigma traz consigo uma

racionalidade totalmente nova. Não existem padrões supra-paradigmáticos. A mudança consiste num efeito de arrastamento. *Portanto, do ponto de vista de Kuhn, a revolução científica é irracional, é um assunto a ser tratado pela psicologia das multitudes.*

A redução da filosofia da ciência à psicologia da ciência não se iniciou com Kuhn. Uma primeira onda de “psicologismo” sucedeu à queda do justificacionismo. Para muitos, o justificacionismo representava a única forma possível de racionalidade; o fim do justificacionismo significava o fim da racionalidade. O colapso da tese segundo a qual as teorias científicas são comprováveis e o progresso da ciência é cumulativo trouxe o pânico aos justificacionistas. Se “descobrir é comprovar”, mas nada é comprovável, então não podem existir quaisquer descobertas, só existem pretensões de descoberta. Assim os justificacionistas desiludidos – os ex-justificacionistas – pensaram que a elaboração de padrões racionais era um empreendimento sem esperança e que a única coisa que se pode fazer é estudar – e imitar – a Mentalidade Científica, tal como é exemplificada em cientistas famosos. Depois do colapso da física newtoniana, Popper elaborou novos padrões críticos não justificacionistas. Ora alguns dos que já tinham conhecimento do colapso da racionalidade justificacionista ficaram então a conhecer, na maior parte dos casos por ouvir dizer, os coloridos *slogans* de Popper que sugeriam o falsificacionismo ingênuo. Chegados à conclusão de que esses *slogans* eram insustentáveis, eles identificaram o colapso do falsificacionismo ingênuo com o fim da própria racionalidade. A elaboração de padrões racionais era de novo considerada como um empreendimento sem esperança; o melhor que se pode fazer é estudar, pensaram mais uma vez, a Mente Científica (330). A filosofia crítica tinha de ser substituída pelo que Polanyi chamou uma filosofia “pós-crítica”. Mas o programa de investigação kuhniano contém uma característica nova: temos de estudar não a mente do cientista tomado individualmente, mas sim a mente da Comunidade Científica. A psicologia individual é então substituída pela psicologia social; a imitação dos cientistas eminentes pela submissão à sabedoria colectiva da comunidade.

Mas Kuhn fechou os olhos ao falsificacionismo sofisticado de